

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення вала 47.628.080 з  
дослідженням параметрів процесу вигладжування поверхонь обертання

Виконав: студент VI курсу, групи МПм-61  
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Шманін А.К.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Марущак П.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент   
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2022

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення вала 47.628.080 з дослідженням параметрів процесу вигладжування поверхонь обертання”.

У кваліфікаційній роботі розроблено конструкцію спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання. Проведено дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту для вигладжування циліндричних поверхонь при дії зовнішнього навантаження із використанням прикладного програмного забезпечення трьохмірного моделювання. Одержано графічне відображення величин напружень та деформацій в конструктивних елементах спеціального інструменту.

Представлено результати експериментальних досліджень та виведено рівняння регресії залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від сили вигладжування, подачі державки із кулькою та діаметра кульки.

Побудовано поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від конструктивних та силових параметрів.

Вдосконалено відомий технологічний процес виготовлення вала 47.628.080.

## ЗМІСТ

### **Вступ.**

### **1 Аналітична частина**

1.1. Аналіз стану питання

1.2. Висновки та постановка завдань

### **2 Науково-дослідна частина**

2.1. Розроблення та дослідження спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання

2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування

2.3. Висновки

### **3 Технологічно-конструкторська частина**

### **4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

Висновки

Перелік посилань

Додатки

## ВСТУП

Процес вигладжування це фінішний процес, при якому кулька підвищеної твердості вільно перекочується по механічно обробленій поверхні під високим тиском і вирівнює вершини шорсткості поверхні. Процес включає зниження шорсткості поверхні, підвищує її мікротвердість а також створює на поверхні надлишкові напруження стиску.

Успішне використання процесу вигладжування поверхні за допомогою кульки потребує вивчення та оптимізацію декількох факторів, що пов'язані із технологією поверхневого пластичного деформування. Фактори, що найбільше вивчені у дослідженнях є подача кульки, глибина деформації, лінійна швидкість вигладжування.

Другорядними вивченими факторами процесу вигладжування є матеріал кульки, діаметр кульки, змашування кульки та поверхні, контактний тиск між кулькою та поверхнею, вид контакту між кулькою та поверхнею обробки, початкова шорсткість попередньо обробленої поверхні, нормальна сила вигладжування, кількість переходів, траєкторія переміщення інструмента.

Процес широко використовується для обробки: циліндричних, сферичних, плоских та комплексних поверхонь після попередньої механічної обробки при мінімальних витратах для покращення якості поверхні різних матеріалів, зокрема алюмінієвих сплавів, які важко піддаються шліфуванню. Тому дослідження процесу вигладжування поверхонь обертання є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення вала 47.628.080.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання

Процес вигладжування (рис. 1.1) це фінішний процес, при якому кулька підвищеної твердості (діаметром 3-12 мм) вільно перекочується по механічно обробленій поверхні під високим тиском і вирівнює вершини шорсткості поверхні. Кулька підтримується в робочому стані рідиною під тиском гідростатично та при цьому змащується або підтискається механічно (рис. 1.2) за рахунок дії пружних елементів. Процес включає зниження шорсткості поверхні, підвищує її мікротвердість а також створює на поверхні надлишкові напруження стиску.

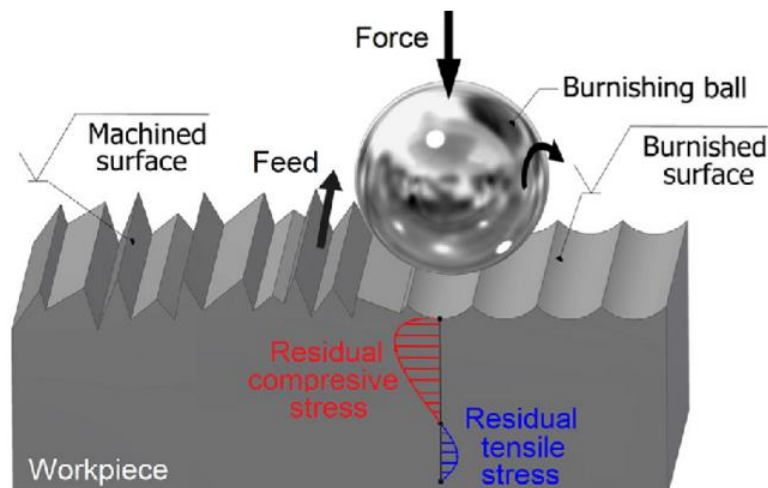


Рисунок 1.1 – Схема процесу вигладжування поверхні кулькою [16]

Цей процес широко використовується для обробки таких поверхонь: циліндричних [19], сферичних [22], плоских [23] та комплексних поверхонь. Процес використовується після попередньої механічної обробки при мінімальних витратах для покращення якості поверхні різних матеріалів, зокрема алюмінієвих сплавів, які важко піддаються шліфуванню [25].

У роботі [26] вказано, що процес вигладжування поверхні кулькою, може замінити процес шліфування в операційній технології виготовлення деталей.

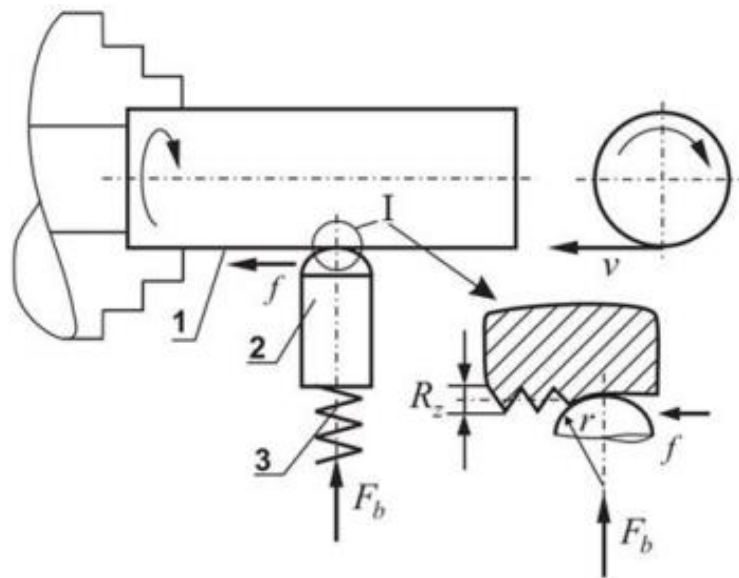


Рисунок 1.2 – Схема процесу вигладжування поверхні підпружиненою кулькою [27]

Цей фінішний процес обробки виконується без зняття стружки і супроводжується деформацією поверхневих мікронерівностей за рахунок нормального тиску, що створюється за допомогою жорсткого ролика або кульки, при цьому вершини мікронерівностей переміщуються у впадини [28].

Після вигладжування одержується гладка поверхня з підвищеною твердістю, при цьому усуваються потенційні місця утворення тріщин (впадини мікронерівностей). Також на поверхні деталі на глибину до 1 мм формуються надлишкові напруження стиску .

Успішне використання процесу вигладжування поверхні за допомогою кульки потребує вивчення та оптимізацію декількох факторів, що пов'язані із технологією поверхневого пластичного деформування. Фактори, що найбільше вивчені у дослідженнях є подача кульки, глибина деформації, лінійна швидкість вигладжування.

Другорядними вивченими факторами процесу вигладжування є матеріал кульки, діаметр кульки, змащування кульки та поверхні, контактний тиск між кулькою та поверхнею, вид контакту між кулькою та поверхнею обробки, початкова шорсткість попередньо обробленої поверхні, нормальна сила вигладжування, кількість переходів, траєкторія переміщення інструмента.

Класифікацію факторів процесу вигладжування поверхні кулькою, представлену у роботі [29], показано на рис. 1.3. При цьому фактори розподілено на чотири групи. До першої групи факторів віднесено фактори, що пов'язані із кінематикою переміщення кульки поверхнею: швидкість вигладжування, подача, вид контакту між кулькою та поверхнею, траєкторія переміщення інструменту.

До другої групи віднесено фактори, що необхідні для підвищення твердості обробленої поверхні: глибина деформації, нормальна сила, тиск рідини, кількість переходів, змащування. До третьої групи віднесено фактори, пов'язані із характеристиками кульки, таких як діаметр і матеріал кульки. До четвертої групи віднесено фактори пов'язані із властивістю поверхні до обробки: початкова шорсткість поверхні та властивості матеріалу заготовки.

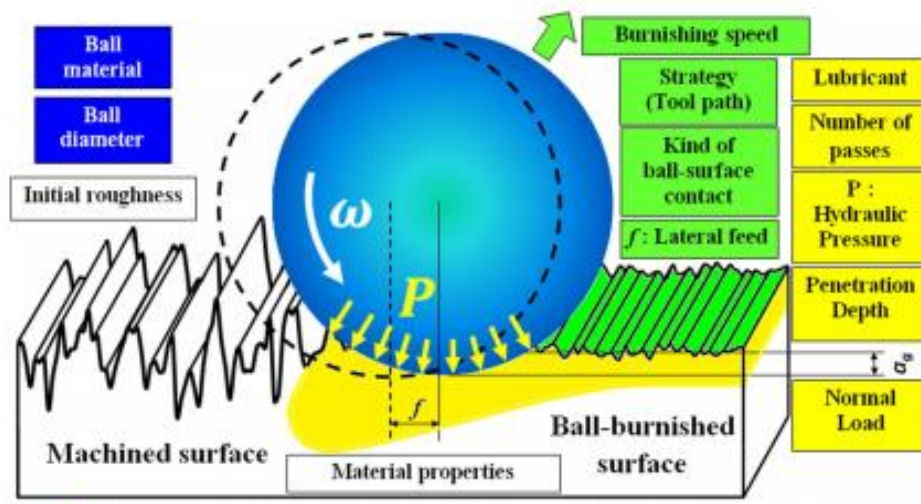


Рисунок 1.3 - Класифікація факторів процесу вигладжування поверхні кулькою [29]

У роботі [30] при дослідження методом кінцевих елементів (МКЕ) процесу вигладжування використано прикладну програму DEFORM™-2D. Процедуру моделювання процесу вигладжування як спрощений 2D процес зображено на рис. 1.4.

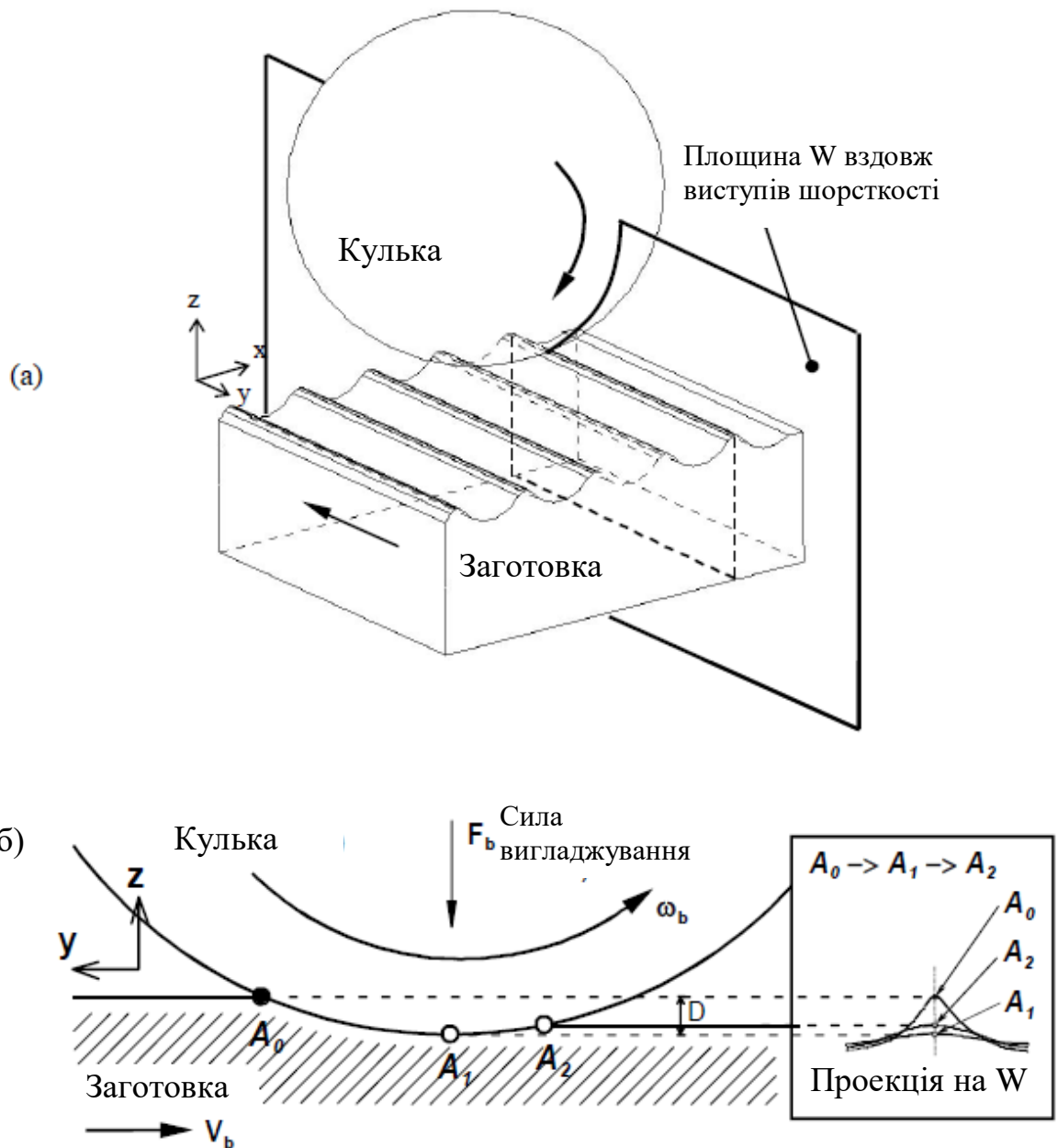


Рисунок 1.4 – а) процес вигладжування кулькою, б) схематичне зображення рухів вигладжування на площині W [30]

На рис. 1.4а показано процес вигладжування поверхні, яка піддавалась фінішній токарній обробці. Оскільки діаметр оброблюваної заготовки набагато більший ніж діаметр кульки на інструменті, заготовку прийняли плоскою. Площину (W) приймали такою, що проходить через центр кульки вздовж виступу шорсткості поверхні.

На рис. 1.4б показано рух кульки в перетині площини (W). Розглянуто елемент матеріалу, що розміщений перед кулькою на вершині виступу



шорсткості поверхні ( $A_0$ ; індекс означає різні моменти часу).

Оскільки обертаються кулька та заготовка, цей елемент матеріалу  $A_0$  прокатується кулькою і рухається вниз до найнижчої позиції  $A_1$  (від  $A_0$  до  $A_1$ : навантаження). Після подальшого переміщення заготовки цей елемент трішки піднімається завдяки відпружиненню поверхні і втратою контакту із кулькою в точці  $A_2$  (від  $A_1$  до  $A_2$ : розвантаження).

Проекція вертикального зміщення цього елемента на площину зображена у вікні праворуч на рис. 1.4б. Символом 'D' позначено максимальну глибину вигладжування або вдавлення кульки між  $A_0$  та  $A_1$ .

Для моделювання процесу деформації матеріалу, що переміщується з  $A_0$  до  $A_2$ , трьохмірний рух кульки можна фактично трансформувати у поступовий рух в напрямку осі  $Z$  в запропонованій 2D моделі, що представлена в площині проекції (вікно на рис. 1.4б).

Силу вигладжування ( $F_b$ ) розраховано аналітично на основі тиску ( $P_b$ ), що прикладений до кульки та діаметра кульки ( $d_b$ ), застосовуючи рівняння [30]:

$$F_b = \frac{\pi}{4} d_b^2 P_b. \quad (1.1)$$

Оскільки при експериментальних дослідження інструмент розміщувався під контактним кутом  $15^\circ$  (кут між інструментом та нормаллю заготовки), сила вигладжування, що використовується в 2D моделі розраховувалась на основі рівняння [30]:

$$F_b = 0,89 \frac{\pi}{4} d_b^2 P_b \cos(15^\circ). \quad (1.2)$$

Під час моделювання МКЕ кулька розглядалась як жорсткий об'єкт, а заготовку прийнято як пружно-пластичний об'єкт. Оскільки рідина під тиском здійснює охолодження та змащування кульки в процесі роботи, були прийняті ізотермічні умови при нульовому терті. Граничні умови щодо зміщення були накладені на ліву, праву та нижню границі заготовки, що зображено на рис. 1.5.

Розмір заготовки при 2D моделюванні МКЕ визначали на основі аналізу впливу розміру заготовки на надлишкові напруження та поверхневу шорсткість. Початкове 2D моделювання процесу вигладжування виконували тільки при циклі вдавлювання без впливу подачі, використовуючи різні розміри заготовки: 3x2 мм, 5x3,5 мм, 5x4,5 мм та 7x6 мм.

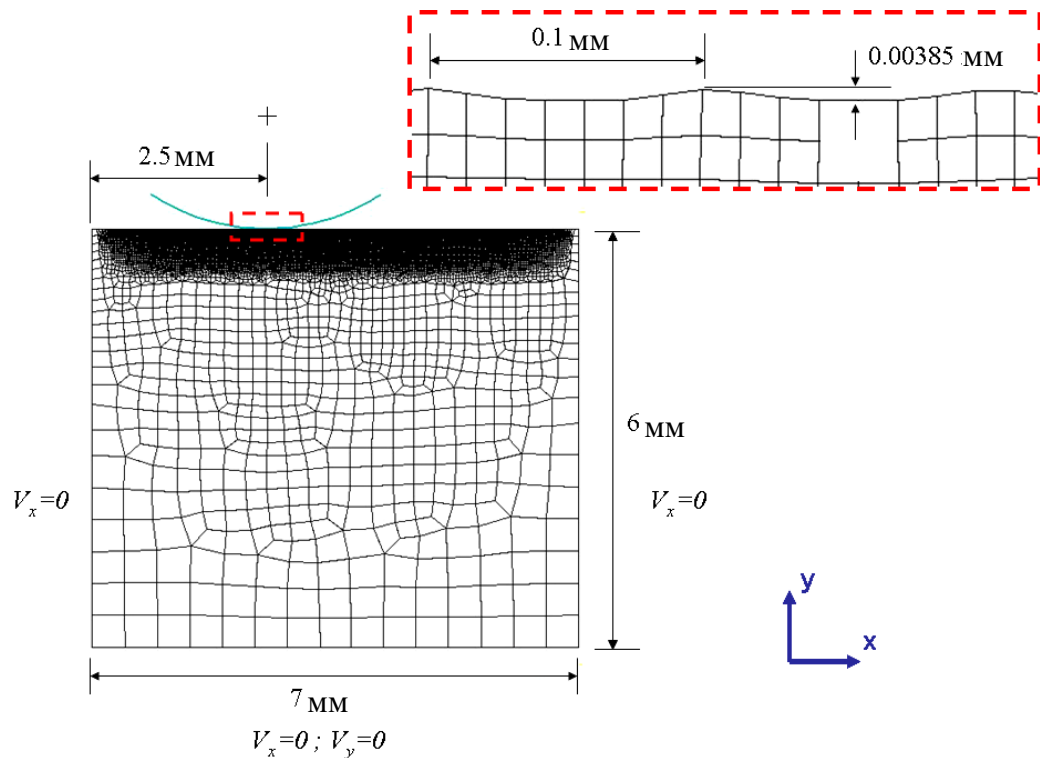


Рисунок 1.5 – Граничні умови 2-D моделювання процесу вигладжування [30]

Ефективний контур напружень на рис. 1.6 показує, що високі надлишкові напруження, які прогнозовані 2D моделюванням МКЕ в основному розміщені в локальних областях під виступами шорсткості поверхні. Це означає, що існує значна зміна напружень в позиціях виступів і впадин поверхневого профілю.

На рис. 1.7 показано, що прогнози 2D моделювання розподілу надлишкових напружень узгоджуються з експериментальними результатами. Величини максимальних надлишкових напружень стиску узгоджуються із різницею 4%. Глибини, в яких присутні надлишкові напруження, передбачені моделюванням, дещо більші ніж у результатах експериментів.

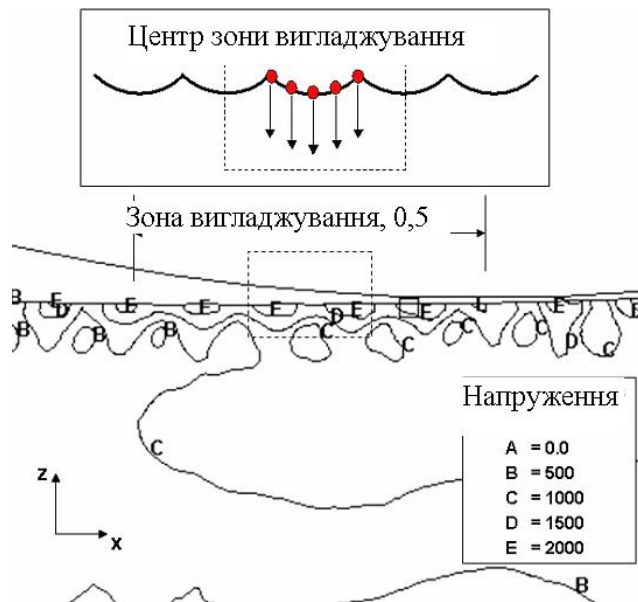


Рисунок 1.6 - Вузлові точки поверхні, для збору даних про надлишкові напруження із 2D моделювання ( $P_b = 40$  МПа і  $f_b = 0,05$  мм/об.) [30]

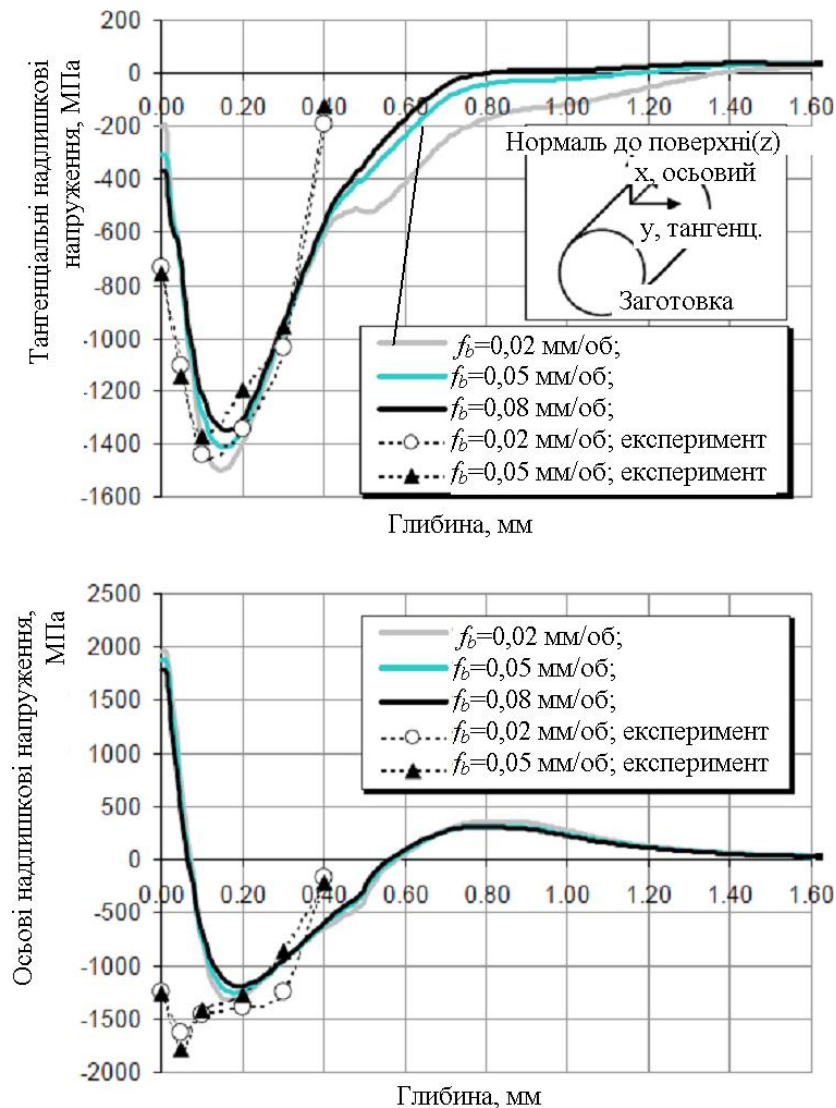


Рисунок 1.7 – Вплив подачі при вигладжуванні (тиск вигладжування 40 МПа) на розподіл тангенціальних та осьових напружень у глибині поверхні [30]

Кількість факторів, що впливають на процес вигладжування я є досить великою (рис. 1.8) [31].



Рисунок 1.8 - Фактори впливу, параметри та показники процесу вигладжування поверхонь обертання [31]

В процесі вигладжування відбуваються фізико-механічні перетворення поверхневого шару заготовки на чотирьох рівнях, що зображені на рис. 1.9 [31].

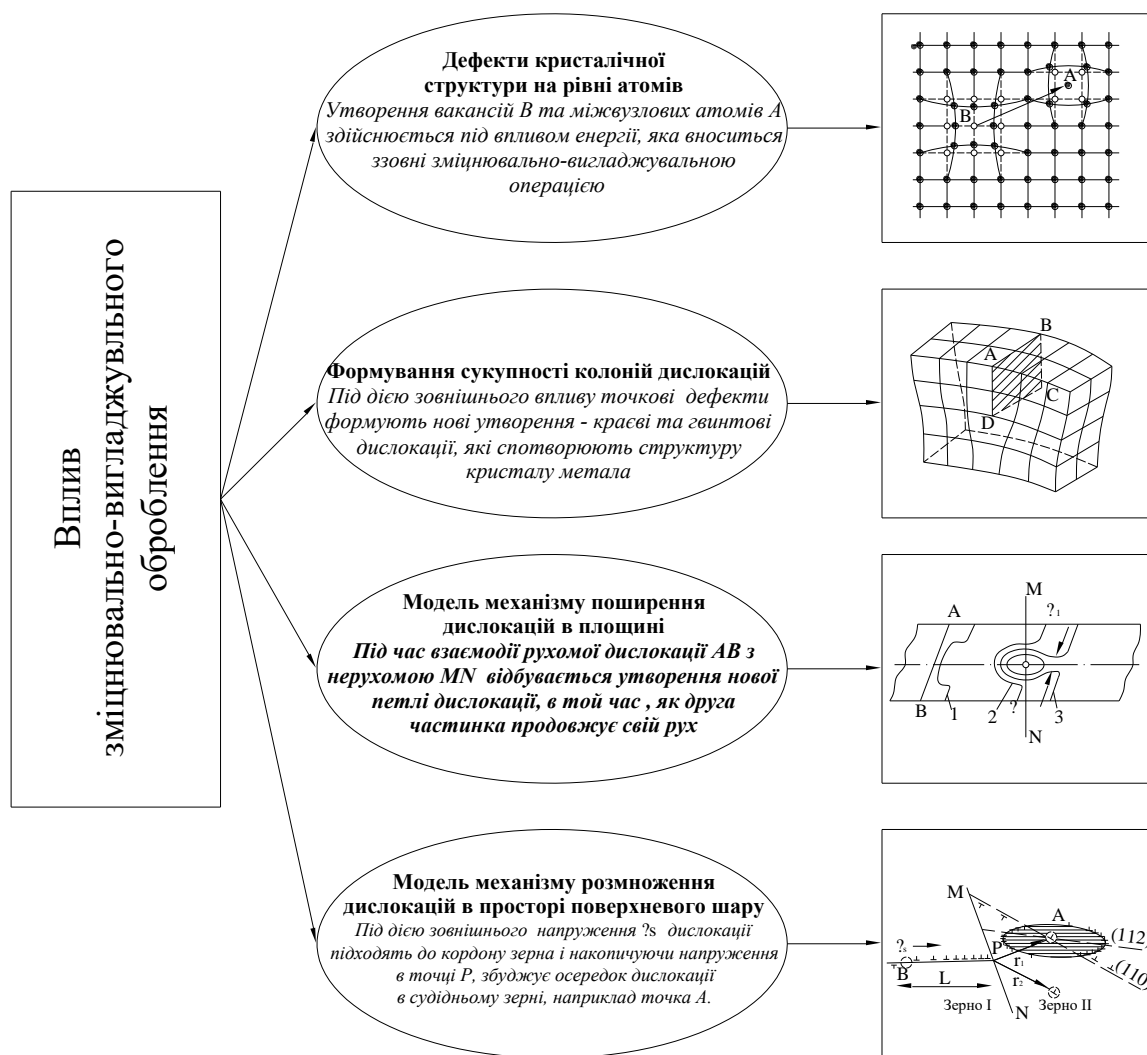


Рисунок 1.9 – Схема фізико-механічних перетворення поверхневого шару заготовки під час вигладжування на чотирьох рівнях [31]

## 1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що процес вигладжування це фінішний процес, при якому кулька підвищеної твердості вільно перекочується по механічно обробленій поверхні під високим тиском і вирівнює вершини шорсткості поверхні. Процес включає зниження шорсткості поверхні, підвищує її мікротвердість а також створює на поверхні надлишкові напруження стиску.

Успішне використання процесу вигладжування поверхні за допомогою

кульки потребує вивчення та оптимізацію декількох факторів, що пов'язані із технологією поверхневого пластичного деформування. Фактори, що найбільше вивчені у дослідженнях є подача кульки, глибина деформації, лінійна швидкість вигладжування.

Другорядними вивченими факторами процесу вигладжування є матеріал кульки, діаметр кульки, змащування кульки та поверхні, контактний тиск між кулькою та поверхнею, вид контакту між кулькою та поверхнею обробки, початкова шорсткість попередньо обробленої поверхні, нормальна сила вигладжування, кількість переходів, траєкторія переміщення інструмента.

Процес широко використовується для обробки: циліндричних, сферичних, плоских та комплексних поверхонь після попередньої механічної обробки при мінімальних витратах для покращення якості поверхні різних матеріалів, зокрема алюмінієвих сплавів, які важко піддаються шліфуванню. Тому дослідження процесу вигладжування поверхонь обертання є актуальним завданням.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Розробити конструкцію спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання.

2. Провести дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту для вигладжування циліндричних поверхонь при дії зовнішнього навантаження із використанням прикладного програмного забезпечення трьохмірного моделювання.

3. Одержати графічне відображення величин напружень та деформацій в конструктивних елементах спеціального інструменту

4. Представити результати експериментальних досліджень та вивести рівняння регресії залежності шорсткості  $Ra$  циліндричної поверхні після вигладжування від сили вигладжування, подачі державки із кулькою та діаметра кульки.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення вала 47.628.080.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Розроблення та дослідження спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання

Для вигладжування поверхонь обертання у кваліфікаційній роботі розроблено спеціальний інструмент, що зображений на рисунках 2.1 та 2.2. Інструмент складається із пружної державки 7, на лівій торцевій частині якої встановлено нерухому оправку 3. В отворах оправки 3 встановлено опори 4 з поверхнями кочення для кульок 5, розміщених у сепараторах 6. На кульки 5 опирається кулька 6 із можливістю обертання. Кулька 6 виготовляється із матеріалу підвищеної твердості і є у взаємодії із поверхнею заготовки 1 в процесі вигладжування. Торець оправки 3 закрито кришкою 12.

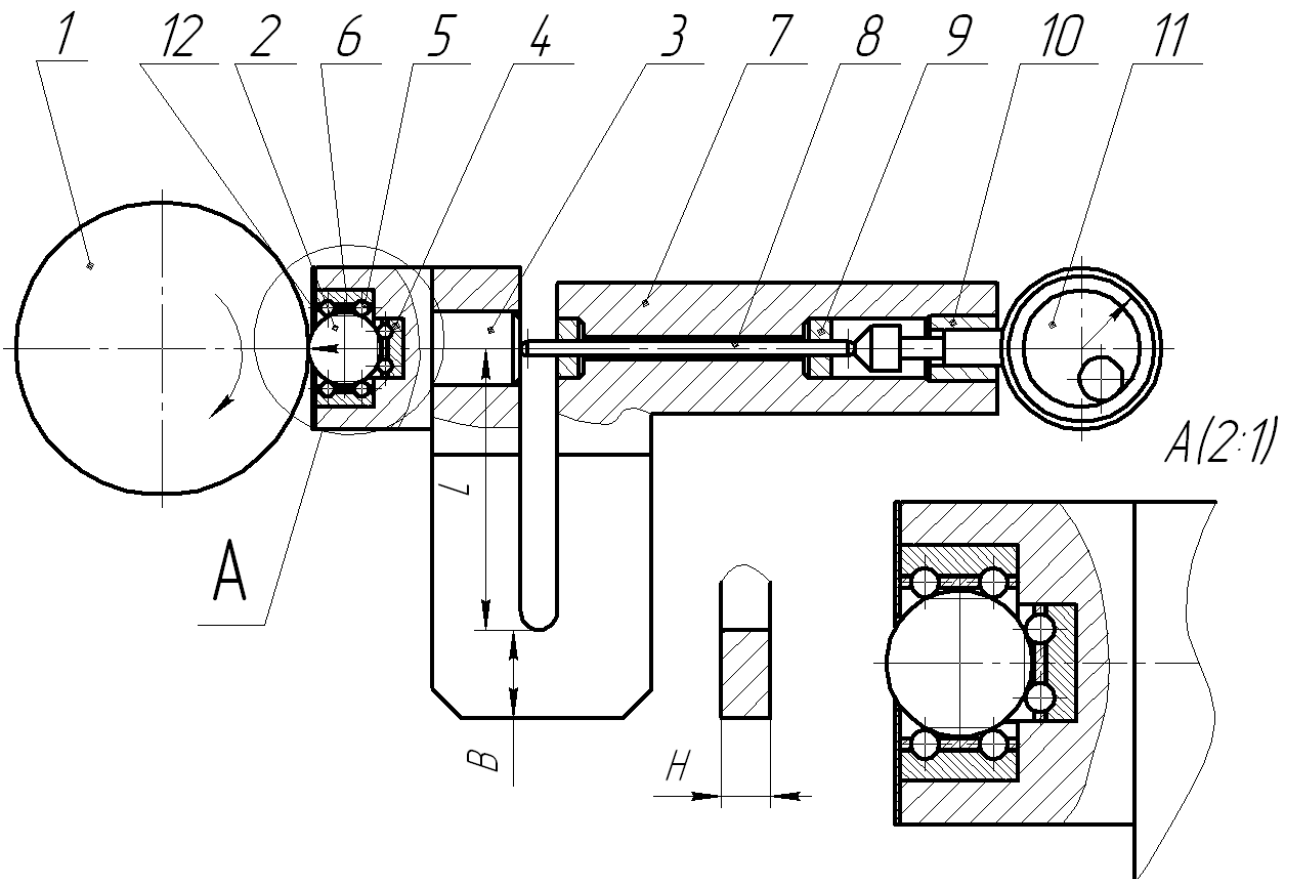


Рисунок 2.1 – Конструкція спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання

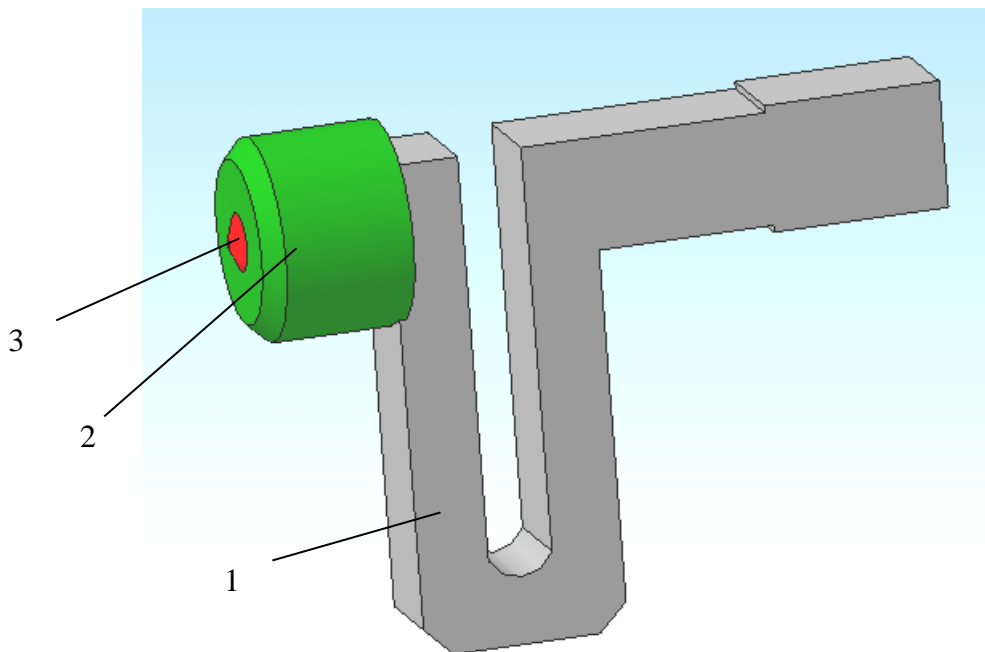


Рисунок 2.2 – Трьохмірне зображення спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання: 1 – державка, 2 – оправка, 3 - кулька

У правій частині державки 7 у запресованих втулках 9 розміщено шток 8 з можливістю прямолінійного руху. У втулці 10 встановлено індикатор годинникового типу 11.

Особливістю такої оправки є те, що сила  $P_v$  вигладжування поверхні заготовки налаштовується за рахунок пружної деформації державки 7 у місці вертикального паза довжиною  $L$ . Процес вигладжування можна виконувати на токарному верстаті. Праву частину державки 7 закріплюють у різцетримачі верстата. Після цього інструмент підводять до закріпленої у патроні заготовки 1. При безпосередньому контакті кульки 2 та заготовки 1 відбувається пружна деформація державки 7 із переміщенням лівої частини вправо, при цьому торець оправки 3 переміщує шток 8 вправо. Шток 7 стискає ніжку індикатора годинникового типу 11, на циферблаті якого стрілкою показано величину деформації державки. Перед початком роботи інструменту відбувається його тарування з визначенням залежності сили  $P_v$  вигладжування поверхні заготовки від величини показника деформації на індикаторі годинникового типу 11.

При досягненні необхідної сили  $P_v$  вигладжування, заготовці 1 надають



обертний рух, а державці 7 із кулькою 2 - рух подачі, внаслідок чого кулька перекочується по поверхні заготовки і здійснюється процес вигладжування. При такому процесі знижується шорсткість обробленої поверхні, підвищується її твердість, а також на верхніх шарах утворюються залишкові напруження стиску, що підвищують довговічність деталі.

Для дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту (рис. 2.1, 2.2) при дії зовнішнього навантаження використано прикладне програмне забезпечення, що дозволяє генерувати кінцево-елементну сітку створеної моделі. Зовнішнє навантаження відповідало векторній величині сили деформування поверхні заготовки, що виникають в процесі вигладжування.

Під час досліджень проектувались різні варіанти спеціального інструменту з вибором окремої конструкції. Після цього відбувався вибір матеріалу із характеристиками міцності, генерування кінцево-елементної сітки моделі, накладання обмежень на місце кріплення інструменту у різцетримачі верстата (рис. 2.3), прикладання сили вигладжування до поверхні кульки (рис. 2.4). В результаті оброблення даної інформації одержали графічне відображення величин напружень (рис. 2.5) та деформацій (рис. 2.6) в конструктивних елементах спеціального інструменту.

В результаті аналізу рис. 2.5 та 2.6 встановлено, що при зовнішньому навантаженні 200 Н максимальні напруження виникають при основі паза державки і становлять 55,9 МПа. Максимальні деформації виникають на вершині оправки і становлять 0,149 мм. Ці значення не перевищують границю текучості матеріалу державки, тому переміщення елементів відбувається в межах пружних деформацій і не знижують суттєво точні процесу вигладжування.

На основі зміни сили вигладжування  $P_v$  від 100 Н до 300 Н, довжини паза  $L$  від 40 мм до 100 мм, ширини перемички  $B$  від 10 мм до 25 мм та товщини державки  $H$  від 10 мм до 25 мм одержали графіки залежності максимальних

напружень (рис. 2.7, 2.9, 2.11, 2.13), та деформацій (рис. 2.8, 2.10, 2.12, 2.14), що виникають у державці при дії сили вигладжування.

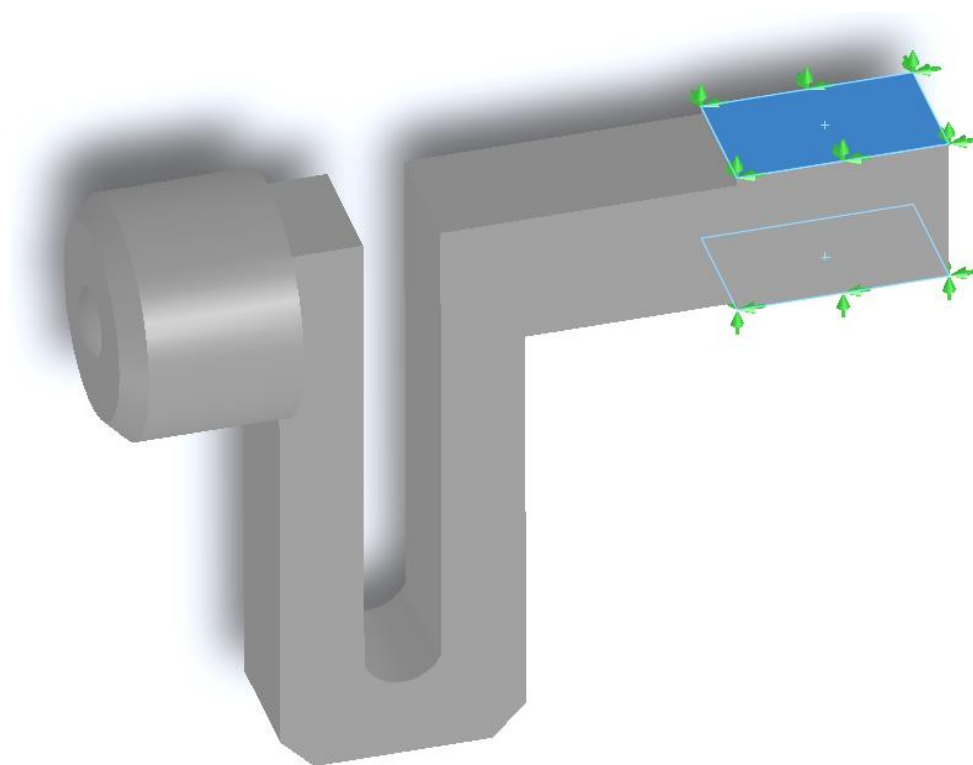


Рисунок 2.3 - Накладання обмежень на місце кріплення інструменту для вигладжування у різцетримачі верстата

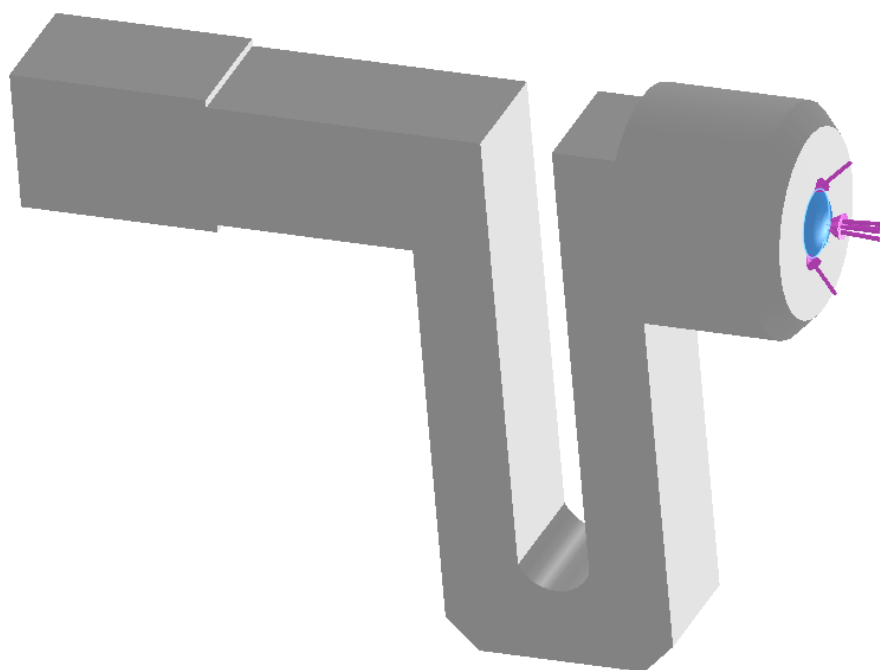


Рисунок 2.4 - Прикладання сил сили вигладжування до поверхні кульки

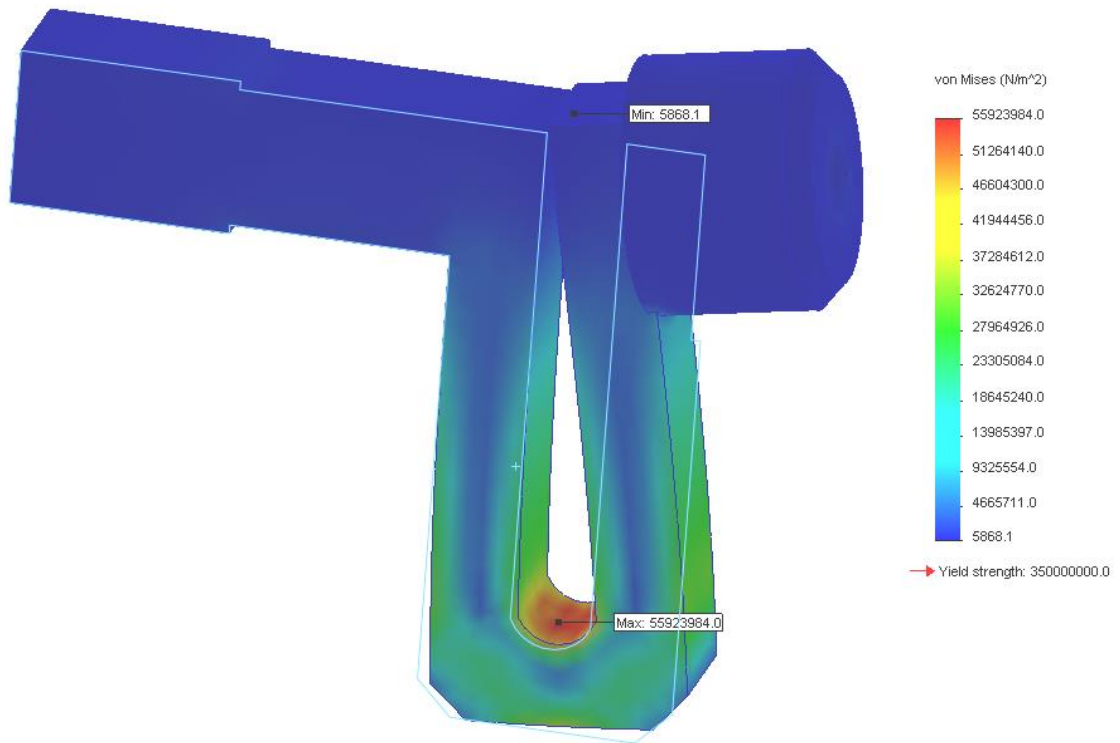


Рисунок 2.5 - Відображення величин напружень в конструктивних елементах спеціального інструменту для вигладжування

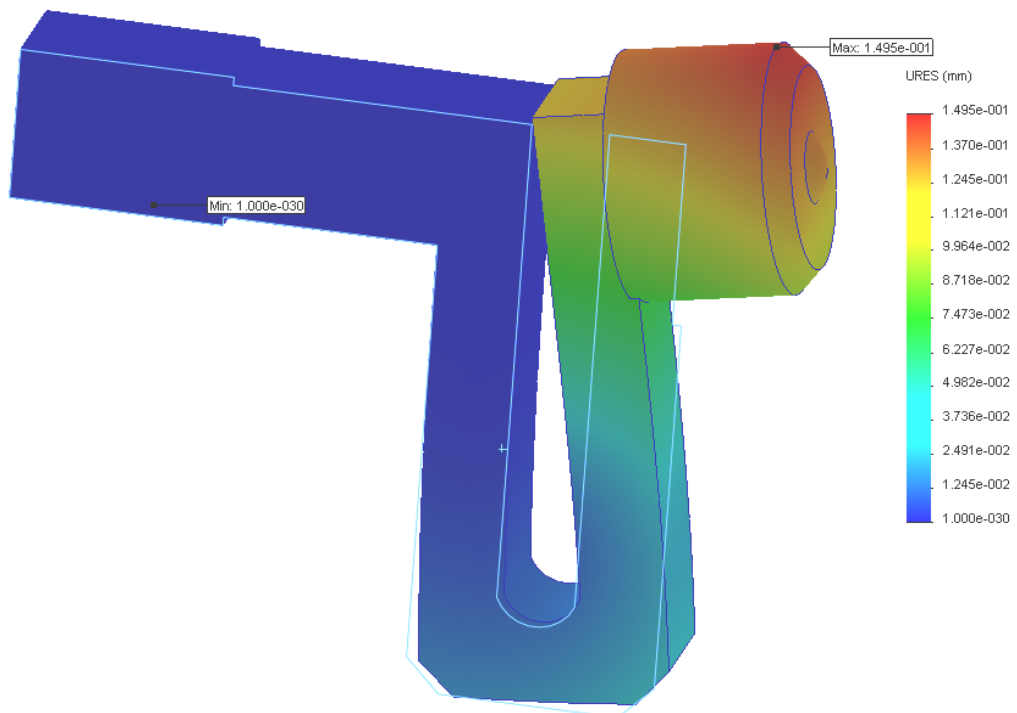


Рисунок 2.6 - Відображення величин деформацій в конструктивних елементах спеціального інструменту для вигладжування

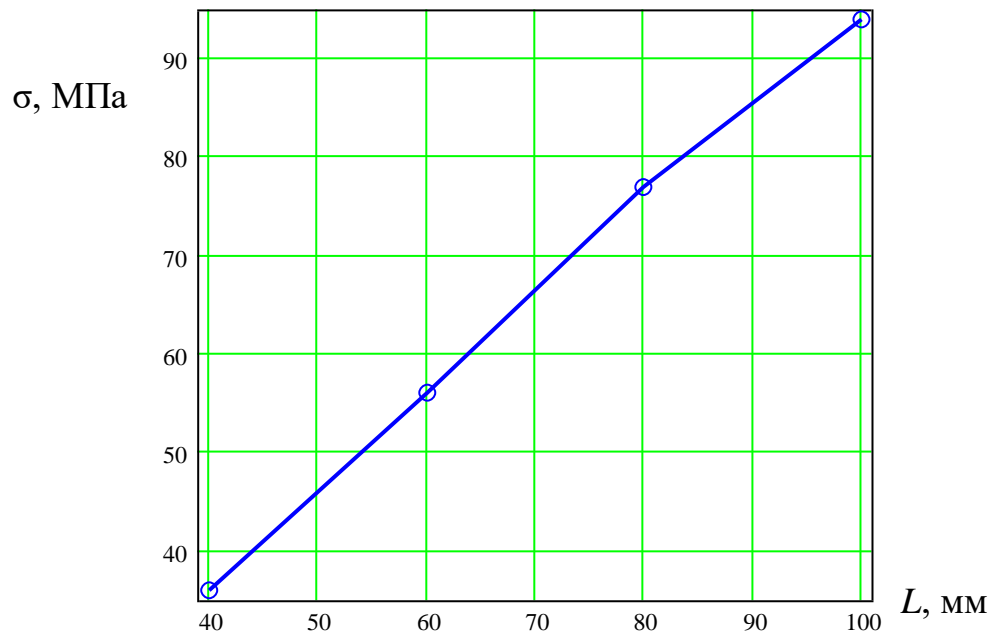


Рисунок 2.7 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у державці при дії сили вигладжування від довжини паза  $L$ :  $P_v=200$  Н,  $B=10$  мм,  $H=15$  мм

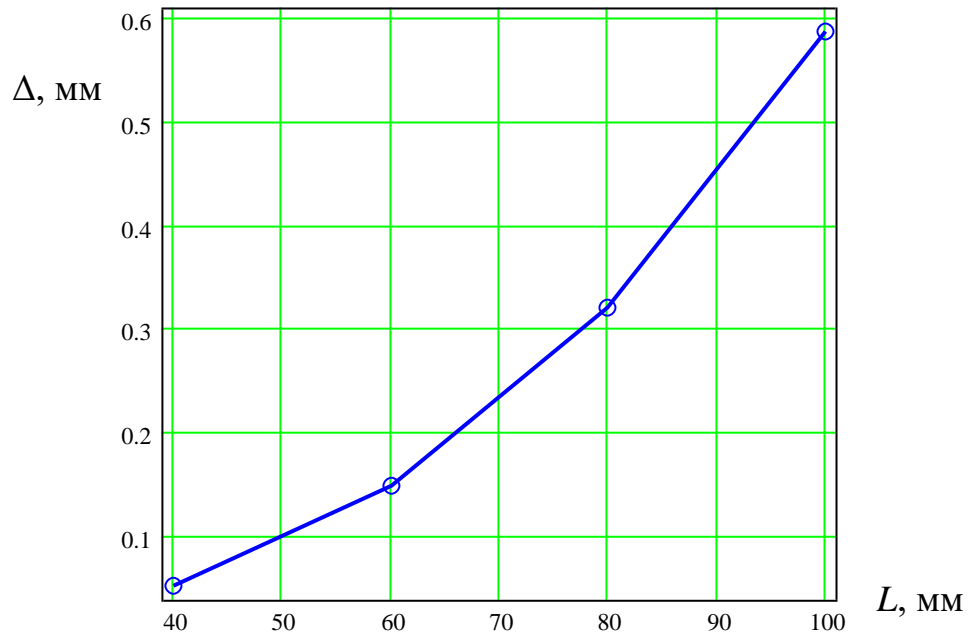


Рисунок 2.8 - Графік залежності максимальних деформацій, що виникають у державці при дії сили вигладжування від довжини паза  $L$ :  $P_v=200$  Н,  $B=10$  мм,  $H=15$  мм

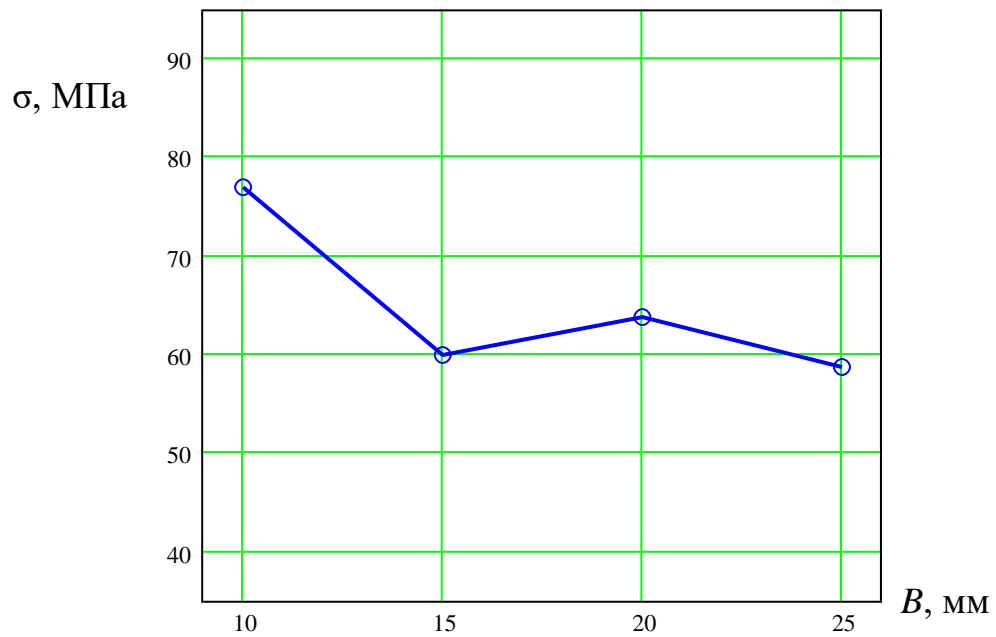


Рисунок 2.9 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у державці при дії сили вигладжування від ширини перемички  $B$ :  $P_v=200$  Н,  $L=80$  мм,  $H=15$  мм

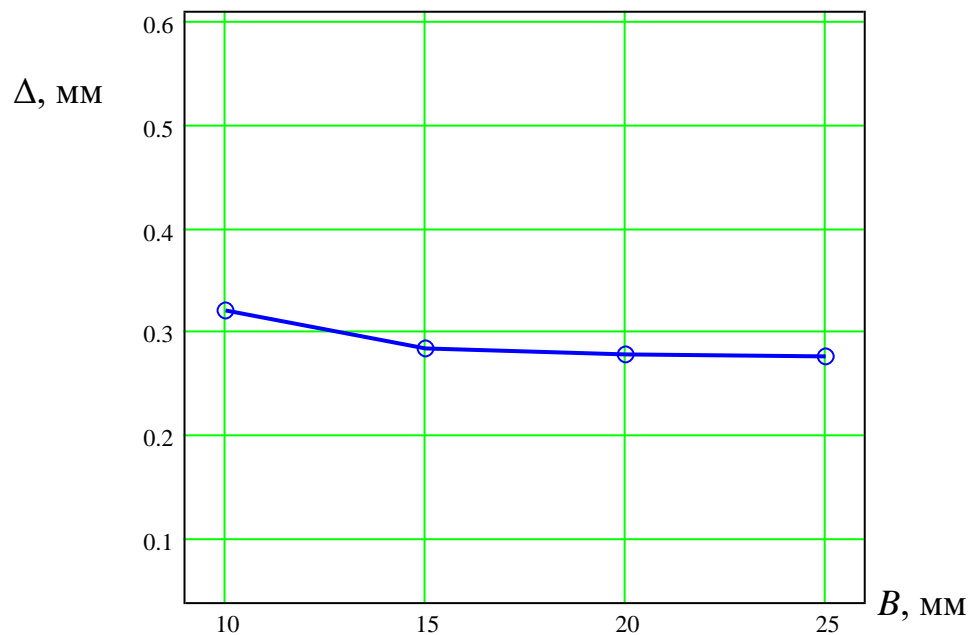


Рисунок 2.10 - Графік залежності максимальних деформацій, що виникають у державці при дії сили вигладжування від ширини перемички  $B$ :  $P_v=200$  Н,  $L=80$  мм,  $H=15$  мм

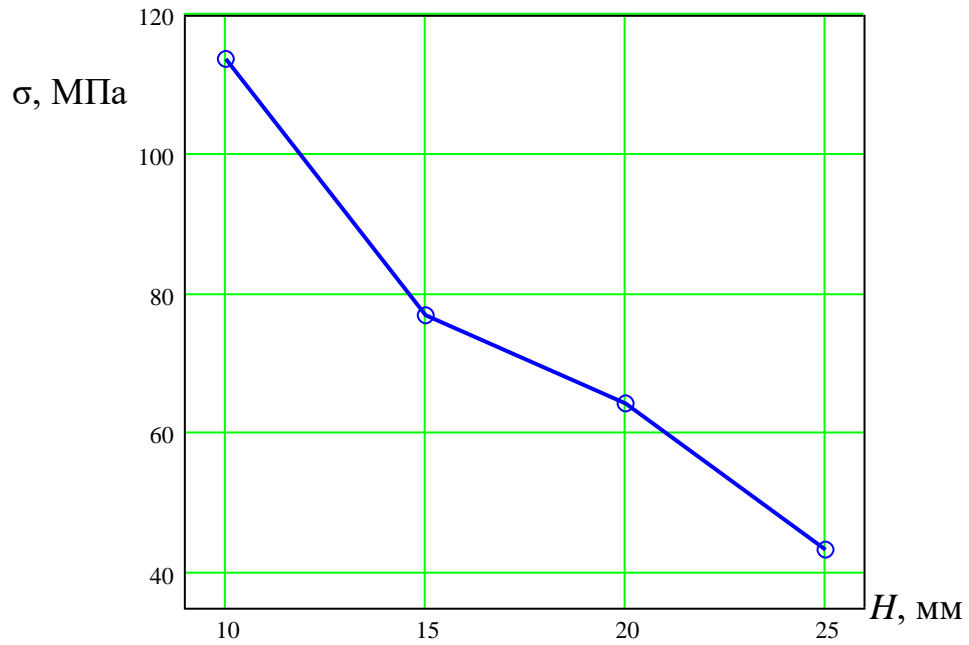


Рисунок 2.11 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у державці при дії сили вигладжування від товщини державки  $H$ :  $P_v=200$  Н,  $L=80$  мм,  $B=10$  мм

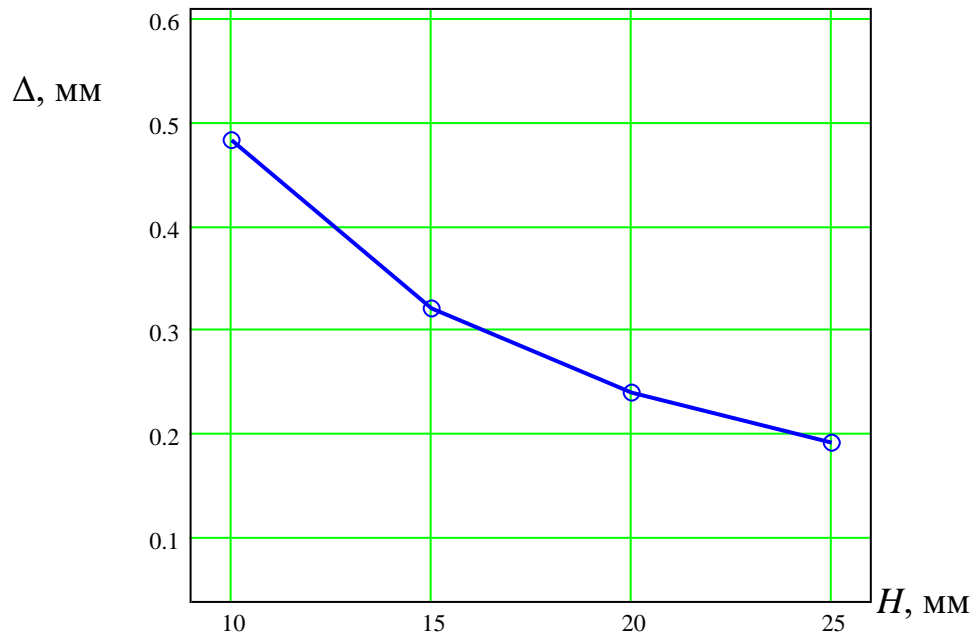


Рисунок 2.12 - Графік залежності максимальних деформацій, що виникають у державці при дії сили вигладжування від товщини державки  $H$ :  $P_v=200$  Н,  $L=80$  мм,  $B=10$  мм

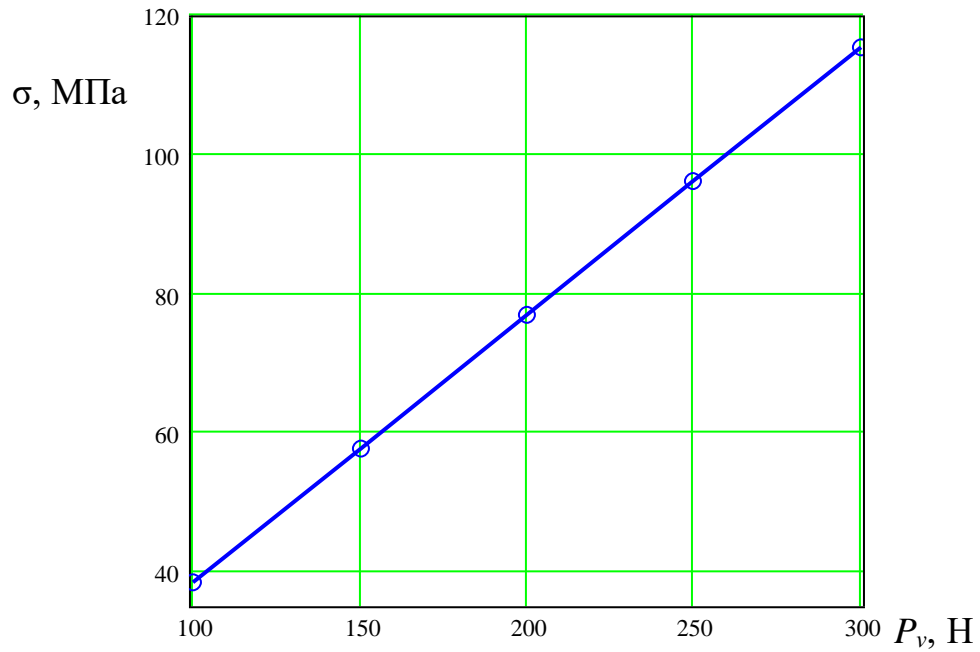


Рисунок 2.13 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у державці від сили вигладжування  $P_v$ :  $L=80$  мм,  $B=10$  мм,  $H=15$  мм

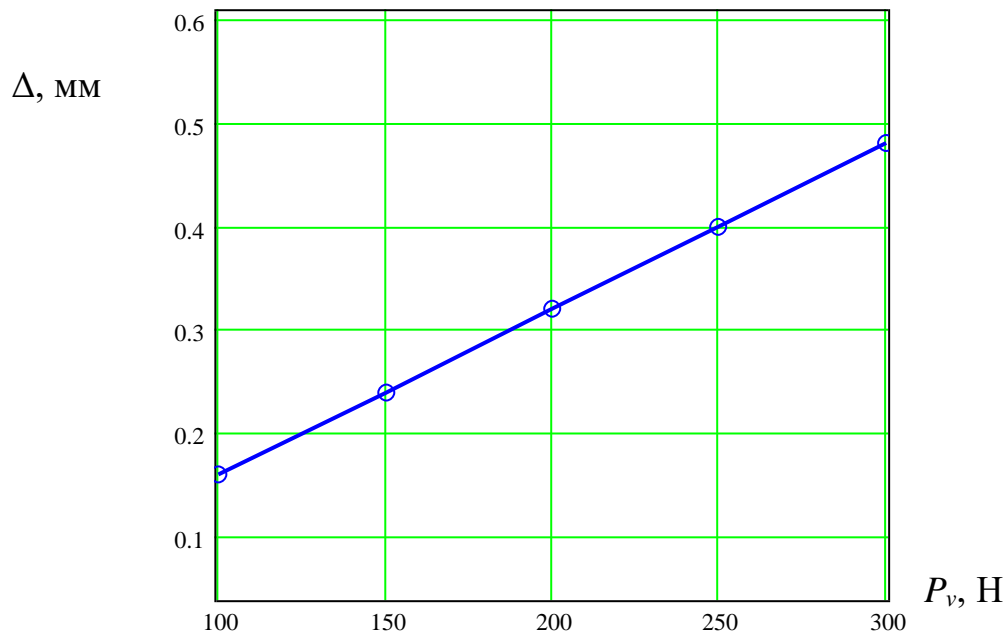


Рисунок 2.14 - Графік залежності максимальних деформацій, що виникають у державці від сили вигладжування  $P_v$ :  $L=80$  мм,  $B=10$  мм,  $H=15$  мм

Збільшення довжини паза  $L$  від 40 мм до 100 мм (рис. 2.7, 2.8) призводить до зростання деформації державки в 11,06 рази від 0,053 мм до 0,586 мм та до зростання напружень у 2,6 рази від 36 МПа до 93,8 МПа.

Збільшення ширини перемички  $B$  від 10 мм до 25 мм (рис. 2.9, 2.10) не суттєво впливає на величину деформації та напружень державки та коливається в межах 14%. Підвищення напружень при  $B=20$  мм пояснюється зміною місця виникнення максимальних напружень (при основі радіуса паза).

Збільшення товщини державки  $H$  від 10 мм до 25 мм (рис. 2.11, 2.12) призводить до зменшення деформації державки в 2,5 рази від 0,482 мм до 0,192 мм та до зменшення напружень у 2,63 рази від 113,5 МПа до 43,3 МПа.

На основі графіків рис. 2.13 та 2.14 встановлено, що величини напружень та деформацій у державці прямопропорційно залежать від величини зовнішнього навантаження у вигляді сили вигладжування. Мінімальна величина напружень становить 38 МПа, а максимальна – 115 МПа. Мінімальна величина деформацій становить 0,16 мм, а максимальна – 0,48 мм. При цьому жорсткість державки становить 625 Н/мм.

Отже, найбільший вплив на величину деформації та напружень державки має довжина паза  $L$ , а найменший - ширина перемички  $B$ . Запропоновані моделі та графіки дозволяють прогнозувати силу вигладжування поверхні обертання залежно від конструктивних параметрів державки та величини її попередньої деформації.

## **2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування**

В межах кваліфікаційної роботи представлено результати експериментальних досліджень шорсткості  $Ra$  циліндричної поверхні після вигладжування. Вигладжування проводилось на токарному верстаті із застосуванням спеціального інструменту для вигладжування, конструкцію якого зображено на рис. 2.1. Заготовка закріплювалась у патроні верстата з упором у обертовий центр. Кульки для вигладжування виготовлялись із швидкоріжучої сталі Р6М5 із термообробкою. Перед вигладжування



здійснювалось тарування спеціального інструменту за допомогою динамометра стиску, відповідно сила вигладжування виставлялась за рахунок переміщення різцетримача з інструментом до поверхні заготовки та деформації державки інструменту. Залежність сили вигладжування від величини деформації державки представлено на графіку рис. 2.14. Шорсткість поверхні вимірювали за допомогою профілографа-профілометра. Матеріал заготовок сталь 45.

Під час експериментів змінювали три основних фактори: сила вигладжування  $P_v$ , подача  $S$  державки із кулькою та діаметр кульки  $D$ .

Вказані фактори змінювали на трьох рівнях: нижньому, верхньому та нульовому. На основі попередніх експериментів та переглянутих інформаційних джерел визначено, що основними змінними факторами, які впливають на шорсткість  $Ra$  циліндричної поверхні після вигладжування є: сила вигладжування  $P_v$ , подача  $S$  державки із кулькою та діаметр кульки  $D$ . Тому шорсткість поверхні після вигладжування можна представити у вигляді функції  $Ra = f(P_v, S, D)$ .

Функцію  $Ra = f(P_v, S, D)$  на основі одержаних даних в точках плану експерименту після статистичної обробки, перевірки значущості коефіцієнтів та адекватності за критеріями Фішера та Стьюдента апроксимовано у вигляді полінома другого порядку.

Границі варіювання основних факторів, що піддавались зміні після рандомізації представлено у таблиці 2.1, де:

- $P_v$  - сила вигладжування, яку кодували індексом  $x_1$ ;
- $S$  - подача державки із кулькою, який кодували індексом  $x_2$ ;
- $D$  - діаметр кульки, який кодували індексом  $x_3$ .

Коефіцієнти рівняння регресії до перевірки на значущість представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Зміна факторів експерименту при дослідженні шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Сила вигладжування	$P_v$ , Н	$x_1$	100	300 (+1)	200 (0)	100 (-1)
Подача державки із кулькою	$S$ , мм/об	$x_2$	0,03	0,08 (+1)	0,05 (0)	0,02 (-1)
Діаметр кульки	$D$ , мм	$x_3$	100	7 (+1)	5 (0)	3 (-1)

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
Сталь 45	0,4	-0,1	0,1	-0,1	0	0	0	0,2	0,000076	0,000076

Загальний вигляд рівняння регресії шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування залежно від зміни: сили вигладжування  $P_v$ , подачі  $S$  державки із кулькою та діаметра кульки  $D$ , тобто  $Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = f(P_v, S, D)$  за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,4 - 0,1x_1 + 0,1x_2 - 0,1x_3 + 0,2x_1^2 + 0,000076x_2^2 + 0,000076x_3^2, \quad (2.1)$$

де  $x_1$  - кодоване значення сили вигладжування  $P_v$ ;  $x_2$  - кодоване значення подачі  $S$  державки із кулькою;  $x_3$  - кодоване значення діаметра кульки  $D$ .

Коефіцієнти  $b_{12}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{23}$  із таблиці 2.2 є незначущими.

У натуральних величинах рівняння регресії залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування:

$$Ra_{(P_v, S, D)} = 1,484 - 0,009P_v + 3,324S - 0,0502D + 2 \cdot 10^{-5} P_v^2 + 0,0844S^2 + 1,9 \cdot 10^{-5} D^2. \quad (2.2)$$

Рівняння (2.2) використано для побудови за допомогою прикладного програмного забезпечення поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів

залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування. Графіки представлено на рисунках 2.15 – 2.20.

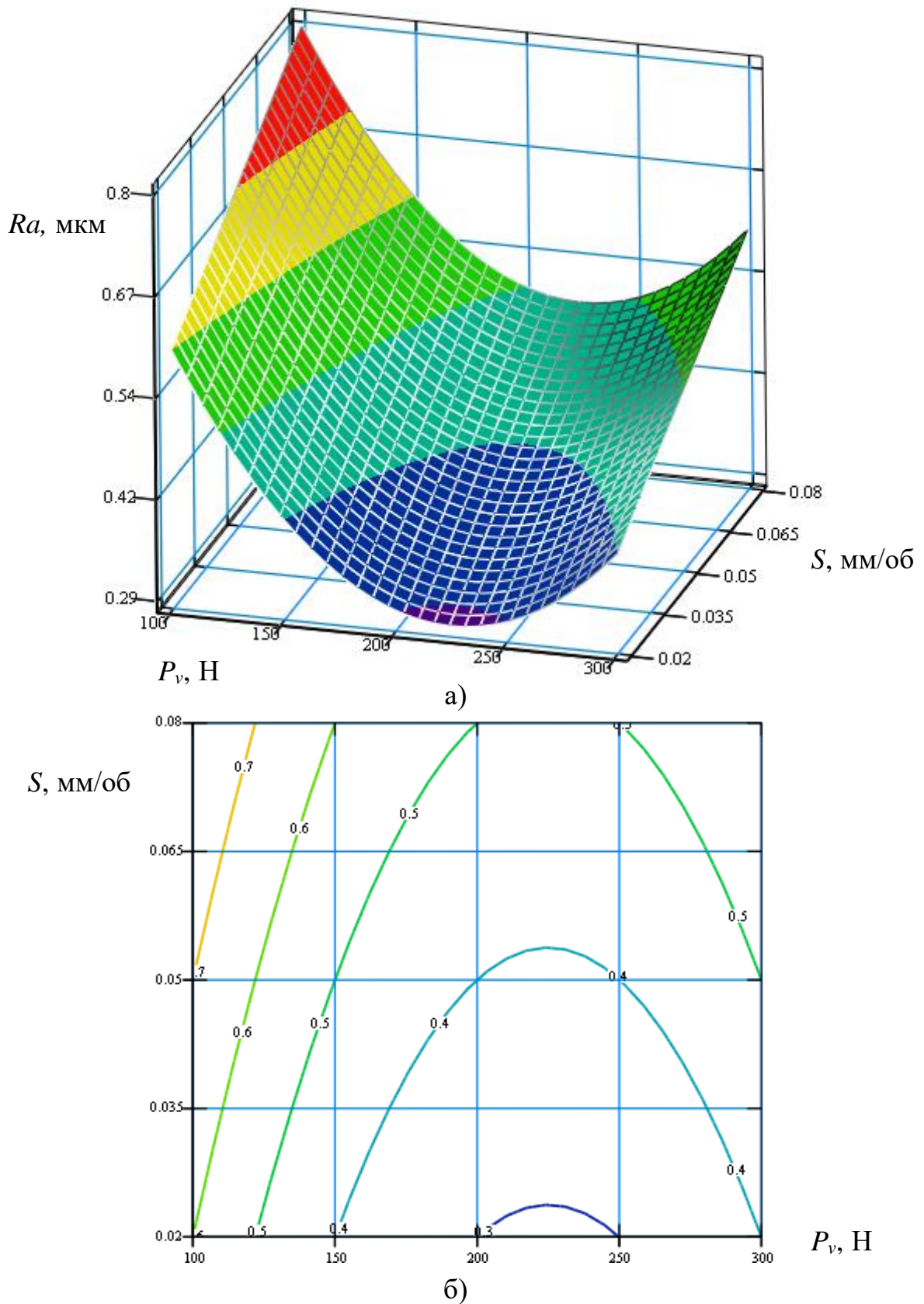
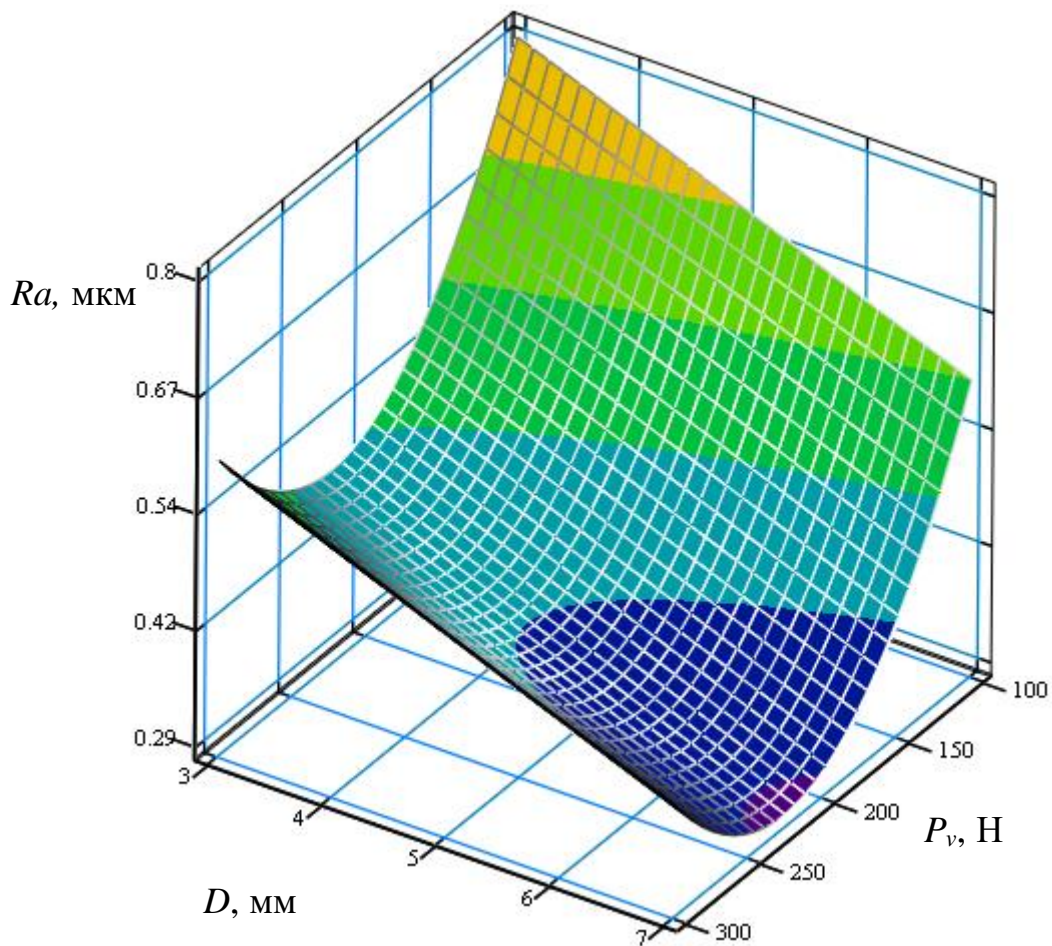
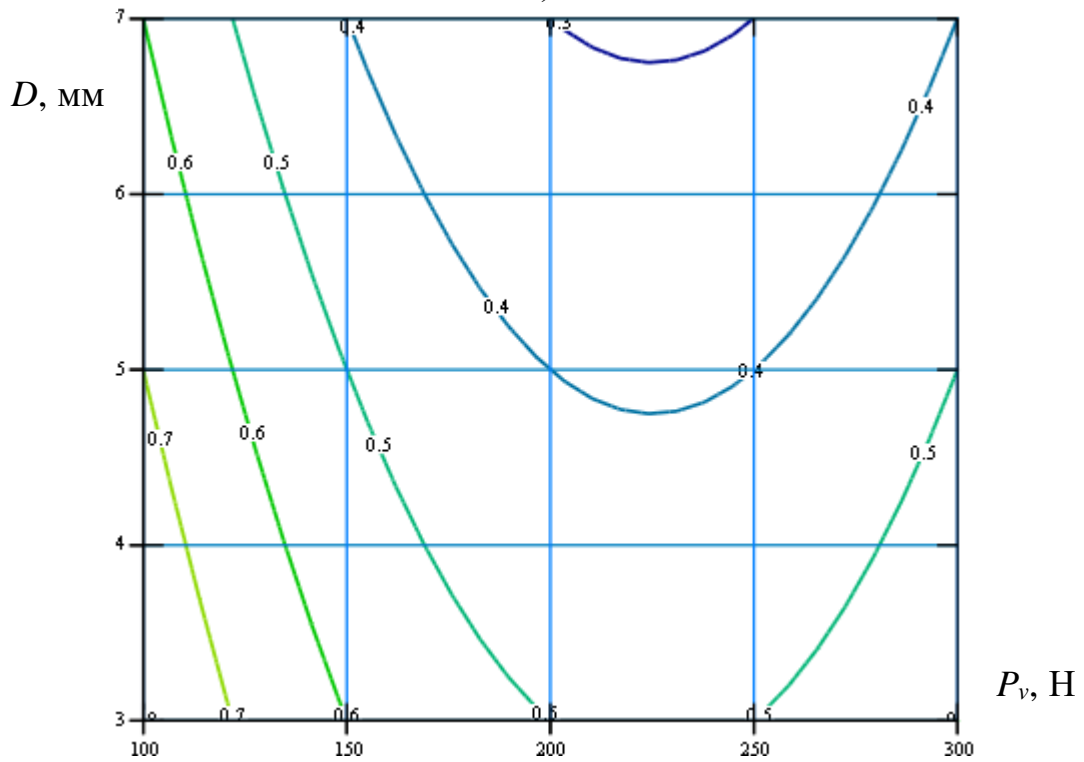


Рисунок 2.15 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від сили вигладжування  $P_v$  та подачі  $S$  державки із кулькою ( $D=5\text{мм}$ )

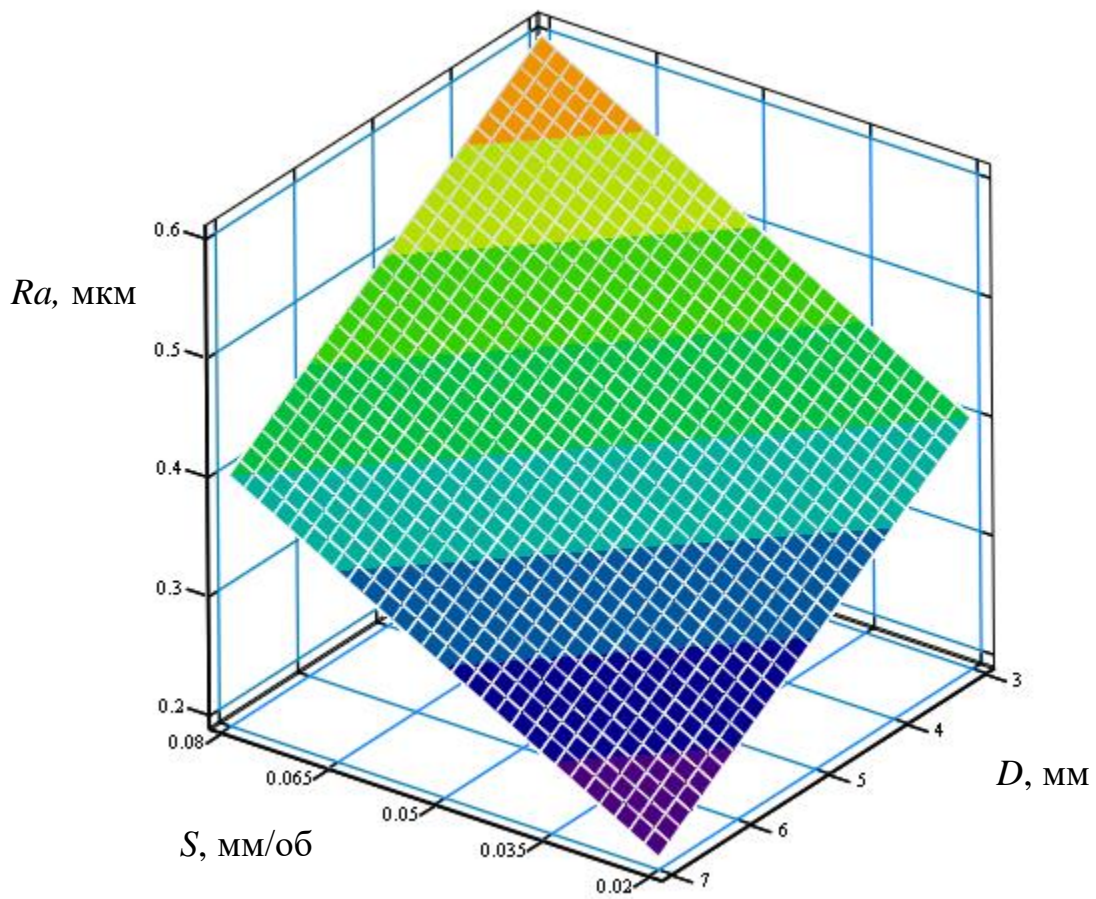


а)

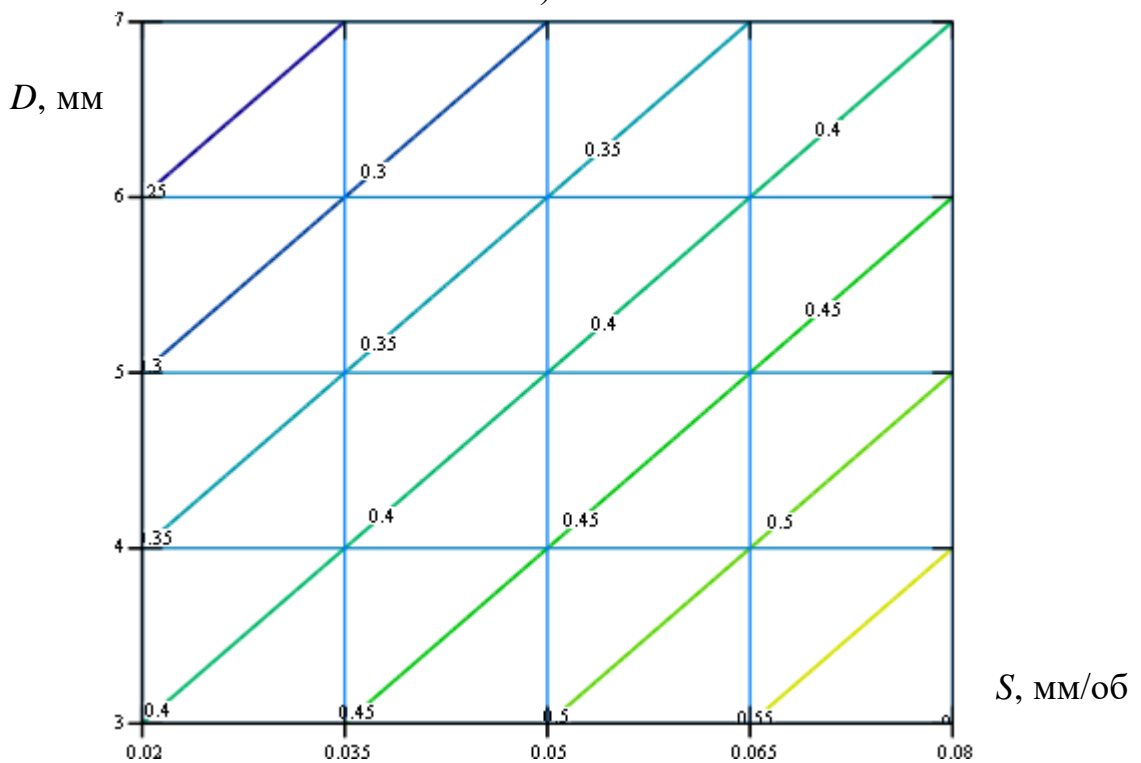


б)

Рисунок 2.16 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від сили вигладжування  $P_v$  та діаметра кульки  $D$  ( $S=0,05$  мм/об)



а)



б)

Рисунок 2.17 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від діаметра кульки  $D$  та подачі  $S$  державки із кулькою ( $P_v = 200 \text{ Н}$ )

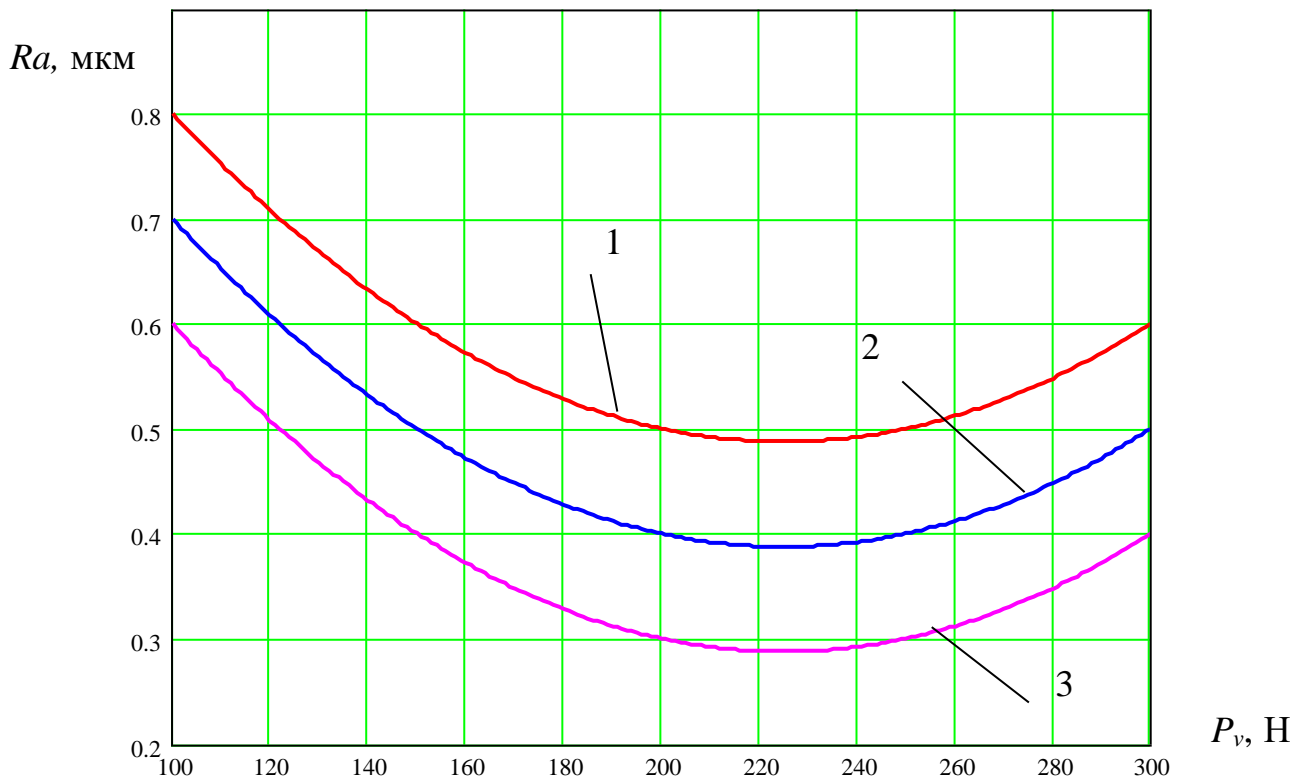


Рисунок 2.18 – Графіки залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від сили вигладжування  $P_v$ :  $S=0,05$  мм/об: 1)  $D=3$  мм; 2)  $D=5$  мм; 3)  $D=7$  мм

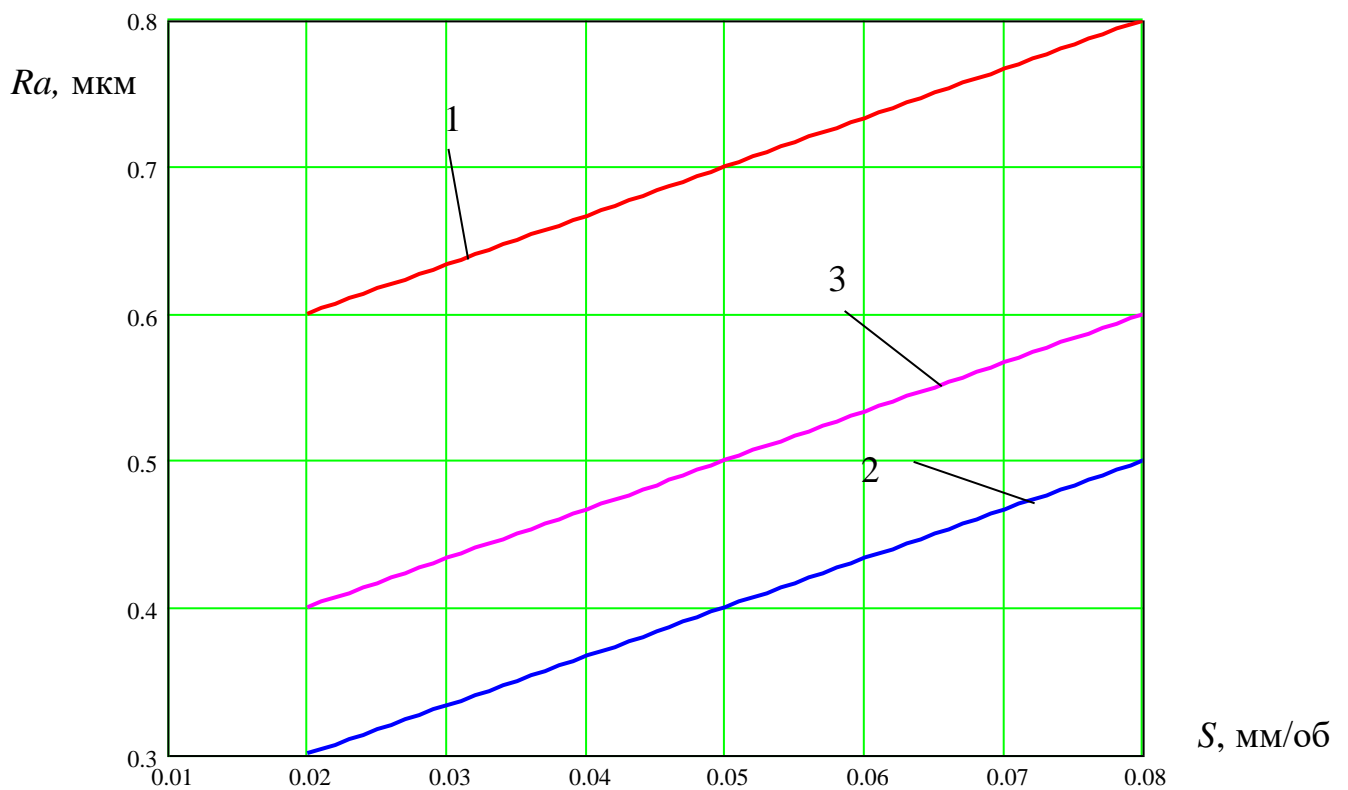


Рисунок 2.19 – Графіки залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від подачі  $S$  державки із кулькою:  $D=5$  мм: 1)  $P_v=100$  Н; 2)  $P_v=200$  Н; 3)  $P_v=300$  Н

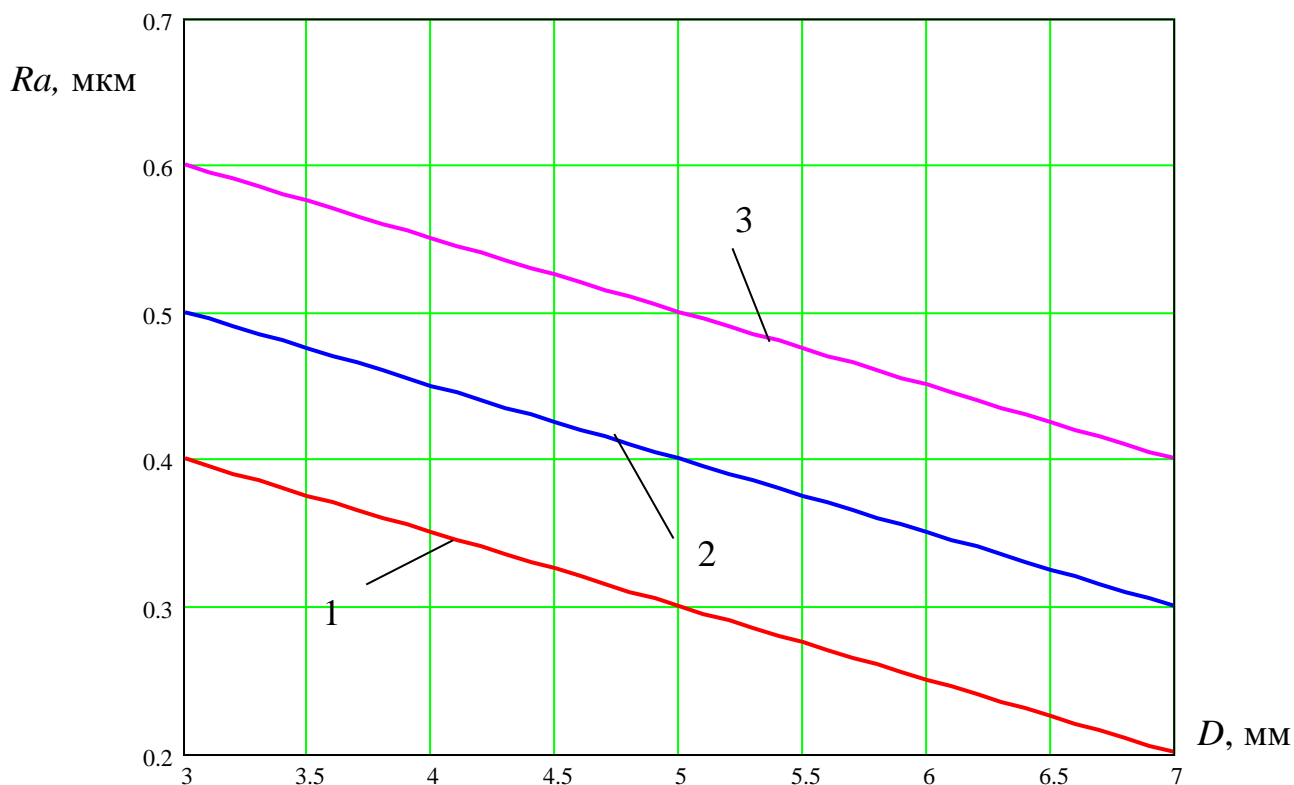


Рисунок 2.20 – Графіки залежності шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування від діаметра кульки  $D$ :  $P_v = 200$  Н: 1)  $S=0,02$  мм/об; 2)  $S=0,05$  мм/об; 3)  $S=0,08$  мм/об

Рівняння регресії (2.1) і (2.2) у кодovаних та натуральних величинах адекватно шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування у таких межах зміни параметрів:

$$100 \leq P_v \leq 300 \text{ (Н)}; 0,02 \leq S \leq 0,08 \text{ (мм/об)}; 3 \leq D \leq 7 \text{ (мм)}.$$

На основі рівнянь регресії (2.1), (2.2) та графіків рисунків 2.15-2.20 визначено, що найбільший вплив на шорсткість циліндричної поверхні після вигладжування має сила вигладжування  $P_v$ . Діаметри кульки  $D$  та подача  $S$  державки із кулькою мають однаковий вплив. При збільшенні сили вигладжування  $P_v$  шорсткість циліндричної поверхні спочатку спадає, а потім зростає. При збільшенні подачі  $S$  державки із кулькою шорсткість циліндричної поверхні зростає, а при збільшенні діаметра кульки  $D$  – спадає.

Максимальне значення шорсткості циліндричної поверхні після

вигладжування становить 0,9 мкм, а мінімальне – 0,2 мкм. Збільшення сили вигладжування  $P_v$  від 100 Н до 230 Н призводить до зменшення шорсткості циліндричної поверхні в 2,07 рази. Подальше збільшення сили вигладжування  $P_v$  від 230 Н до 300 Н призводить до збільшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,38 рази. Отже, оптимальною величиною силою вигладжування при даних умовах експерименту є 230 Н.

Збільшення подачі  $S$  державки із кулькою від 0,02 мм/об до 0,08 мм/об призводить до збільшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,67 рази, а збільшення діаметра кульки  $D$  від 3 мм до 7 мм призводить до зменшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,5 рази.

### **2.3. Висновки**

У розділі представлено конструкцію спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання. Проведено дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту для вигладжування циліндричних поверхонь при дії зовнішнього навантаження із використанням прикладного програмного забезпечення трьомірною моделювання. В результаті оброблення даної інформації одержали графічне відображення величин напружень та деформацій в конструктивних елементах спеціального інструменту.

Встановлено, що при зовнішньому навантаженні 200 Н максимальні напруження виникають при основі паза державки і становлять 55,9 МПа. Максимальні деформації виникають на вершині оправки і становлять 0,149 мм. Ці значення не перевищують границю текучості матеріалу державки, тому переміщення елементів відбувається в межах пружних деформацій і не знижують суттєво точні процесу вигладжування.

Збільшення довжини паза  $L$  від 40 мм до 100 мм призводить до зростання деформації державки в 11,06 рази від 0,053 мм до 0,586 мм та до зростання



напружень у 2,6 рази від 36 МПа до 93,8 МПа.

Збільшення ширини перемички  $B$  від 10 мм до 25 мм не суттєво впливає на величину деформації та напружень державки та коливається в межах 14%. Підвищення напружень при  $B=20$  мм пояснюється зміною місця виникнення максимальних напружень (при основі радіуса паза).

Збільшення товщини державки  $H$  від 10 мм до 25 мм призводить до зменшення деформації державки в 2,5 рази від 0,482 мм до 0,192 мм та до зменшення напружень у 2,63 рази від 113,5 МПа до 43,3 МПа.

Також визначено, що величини напружень та деформацій у державці прямопропорційно залежать від величини зовнішнього навантаження у вигляді сили вигладжування. Мінімальна величина напружень становить 38 МПа, а максимальна – 115 МПа. Мінімальна величина деформацій становить 0,16 мм, а максимальна – 0,48 мм. При цьому жорсткість державки становить 625 Н/мм.

Отже, найбільший вплив на величину деформації та напружень державки має довжина паза  $L$ , а найменший - ширина перемички  $B$ . Запропоновані моделі та графіки дозволяють прогнозувати силу вигладжування поверхні обертання залежно від конструктивних параметрів державки та величини її попередньої деформації.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості  $Ra$  циліндричної поверхні після вигладжування. визначено, що найбільший вплив на шорсткість циліндричної поверхні після вигладжування має сила вигладжування  $P_v$ . Діаметри кульки  $D$  та подача  $S$  державки із кулькою мають однаковий вплив. При збільшенні сили вигладжування  $P_v$  шорсткість циліндричної поверхні спочатку спадає, а потім зростає. При збільшенні подачі  $S$  державки із кулькою шорсткість циліндричної поверхні зростає, а при збільшенні діаметра кульки  $D$  – спадає.

Максимальне значення шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування становить 0,9 мкм, а мінімальне – 0,2 мкм. Збільшення сили

вигладжування  $P_v$  від 100 Н до 230 Н призводить до зменшення шорсткості циліндричної поверхні в 2,07 рази. Подальше збільшення сили вигладжування  $P_v$  від 230 Н до 300 Н призводить до збільшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,38 рази. Отже, оптимальною величиною силою вигладжування при даних умовах експерименту є 230 Н.

Збільшення подачі  $S$  державки із кулькою від 0,02 мм/об до 0,08 мм/об призводить до збільшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,67 рази, а збільшення діаметра кульки  $D$  від 3 мм до 7 мм призводить до зменшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,5 рази.

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Вал” 47.628.080 використовується в редукторі бурякозбирального комбайну.

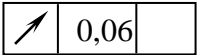
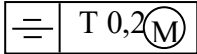

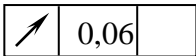
Основними поверхнями деталі є: дві зовнішні циліндричні поверхні  $\varnothing 40k6^{+0,018}_{+0,002}$ , Ra1,25, призначенні для посадки зубчастих коліс, а також для базування ущільнень, компенсаційних втулок та кілець, які забезпечують відповідний осьовий натяг в з'єднаннях; дві зовнішні циліндричні поверхні  $\varnothing 45k6^{+0,018}_{+0,002}$ , Ra1,25, які забезпечують посадку підшипників кочення – технічні пристрої, які підтримують вал, фіксують положення вала відносно інших частин редуктора, а також зменшують тертя між двома рухомими і нерухомими частинами механізму, зменшують знос та втрати енергії; шпонкові пази 12P9 $^{-0,018}_{-0,061}$ , Ra6,3 призначені для установки призматичних шпонок, які виконують передачу крутного моменту; шліцева поверхня D8×46a11×54h7×9h9 ГОСТ 1139-80 – призначена для установки шліцевої муфти; два різевих отвори M12-7H – для кріплення кришки редуктора; два отвори  $\varnothing 5H12$  призначені для фіксації кришки редуктора.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1, 16	Торцева поверхня 498 $_{-0,3}$ Ra 25	Фрезерування напівчистове	Шаблон лінійний (498 $_{-0,3}$ ) спеціальний
2, 15	Фаска зовнішня 6×15°; Ra 25	Точіння чорнове	Шаблон фасочний (6×15°) спеціальний

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
3,14	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 39,9h14 (-0,62)$ ; Ra 25	Точіння чорнове	Калібр-скоба одностороній двохграничний 39,9h14
4, 13	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 40k6 (+0,018)$ $+0,002$ Ra 1,25 	Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Взірці шорсткості Калібр-скоба одностороній двохграничний 40k6 Індикатор ИЧ02кл.0 Прилад БПМ-500
5, 6	Шпонковий паз 12P9 $(-0,018)$ $-0,061$ $5^{+0,2}, 1=80^{+0,2}$ Ra 6,3 	Фрезерування пазовою фрезою	Калібр-призма 12P9, d=40 Калібр для контролю глибини паза $5^{+0,2}$
7, 12	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45k6 (+0,018)$ $+0,002$ Ra 1,25 	Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Взірці шорсткості Калібр-скоба одностороній двохграничний 45k6
8	Торцева поверхня $109_{-0,3}$ , Ra 2,5 	Шліфування торцем круга	Шаблон лінійний ( $109_{-0,3}$ ) спеціальний Індикатор
9	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 60$	Не підлягає обробці різанням	
10	Шліцева поверхня D8×46a11×54h7×9h9 ГОСТ 1139-80 Ra 6,3	Фрезерування	Калібр-комплексний (D8×46a11×54h7×9h9) спеціальний Калібр-скоба

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
10а	Зовнішня циліндрична поверхня Ø 54h7, Ra 1,6	Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Взірці шорсткості Калібр-скоба одностороній двохграничний 54h7
11	Фаска зовнішня 30°; Ra 25	Точіння чорнове	Кутомір тип 1-5
17,18	Отвір Ø 10,2H14 <sup>(+0,36)</sup> під різь М12-7Н, l = 48, Ra 25	Свердління	Калібр-пробка двохстороній двохграничний 10,2H14 ГОСТ 14810-69
19,20	Різь М12-7Н l = 32, Ra 12,5	Нарізання різі мітчиком	Калібр-пробка М12
21,22	Внутрішня фаска 1,6×45°, Ra 25	Зенкування	Шаблон фасочний (1,6×45°) спеціальний
23,24	Отвір Ø 5H12 <sup>(+0,12)</sup> , l = 32, 15±0,2, Ra 25	Сердління по кондуктору	Калібр-пробка двохсторонній двохграничний 5H12

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Порівнюємо два методи отримання заготовки:

Прокат гарячекатаний – круг  $\frac{60\text{-В ГОСТ 2590 – 88}}{40\text{X-1-2-T ГОСТ 4543 – 71}}$

Штамповка на кривошипному гарячощтампувальному пресі.

Ступінь складності штамповки [3]:

$$C = \frac{m_{\text{ш}}}{m_{\text{ф}}}. \quad (3.1)$$

$$m_{\text{ш}} = m_{\text{д}} \cdot k_{\text{р}} = 7,55 \cdot 1,3 = 9,8 \text{ кг [7].}$$

$m_{\text{д}} = 7,55 \text{ кг}$  – маса деталі.

$$m_{\text{ф}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho, \quad (3.2)$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times H = \frac{3,14 \times 60^2 \times 498}{4} = 1407348 \text{ мм}^3 = 1407,3 \text{ см}^3$$

$$m_{\phi} = 1407,3 \cdot 1,05 \cdot 7,85 = 11599,67 \text{ г} = 11,6 \text{ кг}.$$

Тоді група складності штамповки:  $C = \frac{9,8}{11,6} = 0,84$ , що відповідає першому

ступеню складності.

Виконуємо креслення заготовок, отриманих двома способами (рис. 3.1 та рис. 3.2).

Загальні і припуски заносимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Вал” 47.628.080

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) круг $\frac{60\text{-В ГОСТ 2590} - 88}{40\text{X-1-2-T ГОСТ 4543} - 71}$ ;				
Торцева поверхня 498 <sub>-0,3</sub> мм	Ra25	1,5	2 × 2 = 4	502±0,75
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 60	Rz 160	1,6	–	Ø 60 <sup>+0,5</sup> <sub>-1,1</sub>
2) Штамповка на кривошипному гарячостампувальному пресі				
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 45к6	Ra1,25	3,2	2,5 × 2 = 5,0	Ø 50 <sup>+2,1</sup> <sub>-1,1</sub>
Зовнішня циліндрична поверхня Ø 40к6	Ra1,25	3,2	2,5 × 2 = 5,0	Ø 45 <sup>+2,1</sup> <sub>-1,1</sub>
Торцева поверхня 140 <sub>-0,3</sub>	Ra25	4,0	2,2	137,8 <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub>
Торцева поверхня 109 <sub>-0,3</sub>	Ra2,5	3,6	2,5	106,5 <sup>+2,4</sup> <sub>-1,2</sub>
Торцева поверхня 85	Ra25	3,2	1,9	83,1 <sup>+2,1</sup> <sub>-1,1</sub>
Торцева поверхня 84	Ra25	3,2	1,9	82,1 <sup>+2,1</sup> <sub>-1,1</sub>
Торцева поверхня 498 <sub>-0,3</sub>	Ra25	5,0	2,6 × 2 = 5,2	503,2 <sup>+3,3</sup> <sub>-1,7</sub>

Визначаємо об’єм заготовки для першого методу:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4}. \quad (3.3)$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 60^2 \cdot 502}{4} = 1418,65 \text{ см}^3.$$

Визначаємо об'єм заготовки для другого методу:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 45^2 \cdot 85,7}{4} = 136230 \text{ мм}^3 = 136,23 \text{ см}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 45^2 \cdot 84,7}{4} = 134641,2 \text{ мм}^3 = 134,6 \text{ см}^3.$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 50^2 \cdot 23,4}{4} = 45922,5 \text{ мм}^3 = 45,9 \text{ см}^3.$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot 50^2 \cdot 107,7}{4} = 211361,25 \text{ мм}^3 = 211,36 \text{ см}^3.$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot 60^2 \cdot 201,7}{4} = 570004,2 \text{ мм}^3 = 570 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{заг2}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5.$$

$$V_{\text{заг}} = 136,23 + 134,6 + 45,9 + 211,36 + 570 = 1098,09 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу заготовок:

$$Q_1 = 1418,65 \cdot 7,85 = 11136,4 \text{ г} = 11,14 \text{ кг}.$$

$$Q_2 = 1098,09 \cdot 7,85 = 8620 \text{ г} = 8,62 \text{ кг}.$$

Розраховуємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.4)$$

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{7,55}{11,14} = 0,68;$$

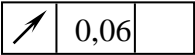
$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{7,55}{8,62} = 0,88.$$

Заготовка – прокат є дешевшою, тому для розроблення технологічного процесу вибрано цей варіант виготовлення заготовки.

### 3.3. Формування технологічного процесу

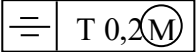

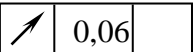
Для синтезу технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” 47.628.080 розглянуто декілька маршрутів обробки із вибором оптимального. Результати представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти для синтезу технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” 47.628.080

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1, 16	Торцева поверхня 498 <sub>-0,3</sub>	11	Ra 25	Фрезерування напівчистове	Точіння напівчистове
2, 15	Фаска зовнішня 6×15°	14	Ra 25	Точіння чорнове	
3,14	Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 39,9h14 (-0,62)	14	Ra 25	Точіння чорнове	
4, 13	Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 40k6 <sup>(+0,018)</sup> <sub>(+0,002)</sub> 	6	Ra 1,25	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Тонке точіння при поздовжній подачі



Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
5, 6	Шпонковий паз 12P9 <sup>(-0,018)</sup> <sub>(-0,061)</sub> 5 <sup>+0,2</sup> , 1=80 <sup>+0,2</sup> 	9	Ra 6,3	Фрезерування пазовою фрезою	
7, 12	Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 45k6 <sup>(+0,018)</sup> <sub>(+0,002)</sub> 	6	Ra 1,25	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Тонке точіння при поздовжній подачі
8	Торцева поверхня 109 <sub>-0,3</sub> 	12	Ra 2,5	Чорнове точіння Напівчистове точіння Шліфування торцем круга	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння
9	Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 60	Звич. точн. прокат- ки	Rz160	Не підлягає обробці різанням	
10	Шліцева поверхня D8×46a11×54h7× 9h9 ГОСТ 1139-80	9	Ra 6,3	Фрезерування	
10a	Зовнішня циліндрична поверхня ∅ 54h7	7	Ra 1,6	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Тонке точіння при поздовжній подачі
11	Фаска зовнішня 30°	14	Ra 25	Точіння чорнове	

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
17, 18	Отвір $\varnothing 10,2H14^{(+0,36)}$ під різь M12-7H, $l = 48$	14	Ra 25	Свердління	
19, 20	Різь M12-7H $l = 32$	13	Ra 12,5	Нарізання різі мітчиком	
21, 22	Внутрішня фаска $1,6 \times 45^\circ$	14	Ra 25	Зенкування	Свердління комбінованим інструментом
23, 24	Отвір $\varnothing 5H12^{(+0,12)}$ , $l = 32$	12	Ra 25	Свердління по кондуктору	

В результаті аналізу таблиці 3.4 одержано маршрут обробки деталі “Вал” 47.628.080.

005 Фрезерно-відрізна

Перехід 2. Відрізати заготовку, витримуючи розмір  $502 \pm 0,75$ .

Перевірити розмір  $502 \pm 0,75$ . Контроль 30%

010 Фрезерно-центрувальна

Перехід 2. Фрезерувати торці 1, 16, витримуючи розмір  $498_{-0,3}$  одночасно.

Перехід 3. Свердлити два центрові отвори 25, 26, витримуючи розміри  $\varnothing 6,3; l=8,0$  мм одночасно.

Перевірити розміри  $498_{-0,3}; \varnothing 6,3; l=8,0$ . Контроль 30%

015 Токарно-копіювальна.

1. Точити попередньо поверхні 4, 7 з попередньою підрізкою торця 8, витримуючи розміри  $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 85$ ;  $\varnothing 53,06h14_{(-0,74)}$ ,  $l = 107,2_{-0,87}$  послідовно з копіювального супорта по копіру.

2. Точити попередньо поверхні 4, 7, витримуючи розміри  $\varnothing 41,13h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 85$ ;  $\varnothing 46,12h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 107,2_{-0,87}$  послідовно з копіювального супорта по копіру; точити фаску 2, витримуючи розмір  $8,3 \times 15^\circ$  з поперечного супорта

одночасно.

3. Точити остаточно поверхні 3, 4, 7 з попередньою підрізкою торця 8, витримуючи розміри  $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 16$ ;  $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$ ,  $l = 85$ ;  $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$ ,  $l = 108,4_{-0,35}$  послідовно з копіювального супорта по копіру.

4. Перевірити розміри:  $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$ ;  $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$ ;  $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$ ;  $108,4_{-0,35}$ ;  $8,3 \times 15^\circ$ . Контроль 100%.

020 Токарно-копіювальна.

1. Точити попередньо поверхні 13, 12, 10а з підрізкою торця, витримуючи розміри  $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 84$ ;  $\varnothing 53,06h14_{(-0,74)}$ ,  $l = 140$ ;  $\varnothing 55,75h14_{(-0,74)}$   $l = 190,8_{-0,87}$  послідовно з копіювального супорта по копіру.

2. Точити попередньо поверхні 13, 12, витримуючи розміри  $\varnothing 41,13h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 84$ ;  $\varnothing 46,12h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 140$  послідовно з копіювального супорта по копіру; точити фаски 15, 11, витримуючи розміри  $8,3 \times 15^\circ$ ;  $3,1 \times 30^\circ$  з поперечного супорта одночасно.

3. Точити остаточно поверхні 14, 13, 12, 10а з підрізкою торця, витримуючи розміри  $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$ ,  $l = 16$ ;  $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$ ,  $l = 84$ ;  $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$ ,  $l = 140$ ;  $\varnothing 54,95h11_{(-0,19)}$ ,  $l = 192_{-0,3}$  послідовно з копіювального супорта по копіру.

Перевірити розміри:  $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$ ;  $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$ ;  $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$ ;  $\varnothing 54,95h11_{(-0,19)}$ ;  $192_{-0,3}$ ;  $8,3 \times 15^\circ$ ;  $3,1 \times 30^\circ$ . Контроль 100%.

025 Шпонковофрезерна

Перехід 2. Фрезерувати шпонковий паз 5, витримуючи розмір  $12P9_{(-0,061)}^{-0,018} 5^{+0,2}$ ,  $l = 80^{+0,2}$ .

Перевірити розміри  $12P9_{(-0,061)}^{-0,018} 5^{+0,2}$ ,  $l = 80^{+0,2}$ . Контроль 30%

030 Шпонковофрезерна

Перехід 2. Фрезерувати шпонковий паз 6, витримуючи розмір  $12P9_{(-0,061)}^{-0,018} 5^{+0,2}$ ,  $l = 80^{+0,2}$ .

Перевірити розміри  $12P9 \begin{pmatrix} -0,018 \\ -0,061 \end{pmatrix} 5^{+0,2}, 1=80^{+0,2}$ .. Контроль 30%

Операція 035 Шліцефрезерна

Перехід 2. Фрезерувати шліці 10, витримуючи розмір  $9h9 \begin{pmatrix} -0,036 \\ -0,036 \end{pmatrix}, \varnothing 46a11 \begin{pmatrix} -0,32 \\ -0,48 \end{pmatrix}$ .

Перевірити розміри  $9h9 \begin{pmatrix} -0,036 \\ -0,036 \end{pmatrix}, \varnothing 46a11 \begin{pmatrix} -0,32 \\ -0,48 \end{pmatrix}$ . Контроль 30%

040 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Свердлити отвір 23, витримуючи розмір  $\varnothing 5H12 \begin{pmatrix} +0,12 \\ +0,12 \end{pmatrix}, 1=8, 15\pm 0,2$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 5H12 \begin{pmatrix} +0,12 \\ +0,12 \end{pmatrix}, 1=8, 15\pm 0,2$ . Контроль 30%

045 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Свердлити отвір 24, витримуючи розмір  $\varnothing 5H12 \begin{pmatrix} +0,12 \\ +0,12 \end{pmatrix}, 1=8, 15\pm 0,2$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 5H12 \begin{pmatrix} +0,12 \\ +0,12 \end{pmatrix}, 1=8, 15\pm 0,2$ . Контроль 30%

050 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Свердлити отвір 17 під різь і зенкувати фаску 21, витримуючи розмір  $\varnothing 10,2H14 \begin{pmatrix} +0,36 \\ +0,36 \end{pmatrix}, 1=48, 1,6\times 45^\circ$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 10,2H14 \begin{pmatrix} +0,36 \\ +0,36 \end{pmatrix}, 1=48, 1,6\times 45^\circ$ . Контроль 30%.

Операція 055 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Свердлити отвір 18 під різь і зенкувати фаску 21, витримуючи розмір  $\varnothing 10,2H14 \begin{pmatrix} +0,36 \\ +0,36 \end{pmatrix}, 1=48, 1,6\times 45^\circ$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 10,2H14 \begin{pmatrix} +0,36 \\ +0,36 \end{pmatrix}, 1=48, 1,6\times 45^\circ$ . Контроль 30%.

060 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Нарізати різь 19, витримуючи розмір M12-7H; 1 = 32.

Перевірити розміри M12-7H; 1 = 32. Контроль 30%.

065 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Нарізати різь 20, витримуючи розмір M12-7H; 1 = 32.

Перевірити розміри M12-7H; 1 = 32. Контроль 30%.

### 070 Круглошліфувальна

Перехід 2. Шліфувати попередньо поверхню 7 з шліфуванням торця 8, витримуючи розміри  $\varnothing 45,08h8(-0,039)$ ;  $l = 109_{-0,3}$ .

Перехід 3. Шліфувати остаточно поверхню 7, витримуючи розміри  $\varnothing 45k6(+0,018/+0,002)$ ,  $l = 109_{-0,3}$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 45k6(+0,018/+0,002)$ ,  $l = 109_{-0,3}$ . Контроль 30%.

### 075 Круглошліфувальна

Перехід 2. Шліфувати попередньо поверхню 4, витримуючи розміри  $\varnothing 40,101h8(-0,039)$ ;  $l = 85$ .

Перехід 3. Шліфувати остаточно поверхню 4, витримуючи розміри  $\varnothing 40k6(+0,018/+0,002)$ ,  $l = 85$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 40k6(+0,018/+0,002)$ ,  $l = 85$ . Контроль 30%.

### 080 Круглошліфувальна

Перехід 2. Шліфувати попередньо поверхню 10а, витримуючи розміри  $\varnothing 54,45h8(-0,046)$ ,  $l = 192_{-0,3}$ .

Перехід 3. Шліфувати остаточно поверхню 10а, витримуючи розміри  $\varnothing 54h7(-0,03)$ ,  $l = 192_{-0,3}$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 54h7(-0,03)$ ,  $l = 192_{-0,3}$ . Контроль 30%.

### 085 Круглошліфувальна

Перехід 2. Шліфувати попередньо поверхні 12, витримуючи розміри  $\varnothing 45,08h8(-0,039)$ ,  $l = 140$ .

Перехід 3. Шліфувати остаточно поверхню 12, витримуючи розміри  $\varnothing 45k6(+0,018/+0,002)$ ,  $l = 140$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 45k6(+0,018/+0,002)$ ,  $l = 140$ . Контроль 30%.

### Операція 090 Круглошліфувальна

Перехід 2. Шліфувати попередньо поверхню 13, витримуючи розміри  $\varnothing 40,101h8(-0,039)$ ,  $l = 84$ .

Перехід 3. Шліфувати остаточно поверхню 13, витримуючи розміри  $\varnothing 40k6 \left( \begin{smallmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right)$ ,  $l = 84$ .

Перевірити розміри  $\varnothing 40k6 \left( \begin{smallmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right)$ ,  $l = 84$ . Контроль 30%.

095 Контроль.

### 3.4. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
<b>Торцеві поверхня 498<sub>-0,3</sub> мм</b>					
Фрезерування	14	Rz 80	0,3	–	498 <sub>-0,3</sub>
Заготовка	15	Rz 160	1,5	2 × 2 = 4	502±0,75
<b>Торцева поверхня 109<sub>-0,3</sub>, Ra 2,5</b>					
Шліфування напівчистове	IT11/2	Ra 2,5	0,30	0,6	109 <sub>-0,3</sub>
Напівчистове точіння	11	Rz 20	0,35	1,2	108,4 <sub>-0,35</sub>
Заготовка	14	Rz 100	0,87	1,8	107,2 <sub>-0,87</sub>
<b>Торцева поверхня 192<sub>-0,3</sub>, Ra 25</b>					
Напівчистове точіння	11	Ra 25	0,30	1,2	192 <sub>-0,3</sub>
Заготовка	14	Rz 100	0,87	1,2	190,8 <sub>-0,87</sub>
<b>Зовнішня циліндрична поверхня <math>\varnothing 54h7 \left( \begin{smallmatrix} - \\ -0,030 \end{smallmatrix} \right)</math>; Ra 1,6</b>					
Шліфування чистове	7	Ra 1,6	0,03	0,225 × 2 = 0,45	$\varnothing 54_{-0,03}$
Шліфування напівчистове	8	Rz 10	0,046	0,25 × 2 = 0,5	$\varnothing 54,45_{-0,046}$
Напівчистове точіння	11	Rz 20	0,19	0,4 × 2 = 0,8	$\varnothing 54,95_{-0,19}$
Чорнове точіння (зняття напуску)	14	Rz 100	0,74	2,125 × 2 = 4,25	$\varnothing 55,75_{-0,74}$

### Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Заготовка	Звичайн. точності прокатки	Rz 160	1,6	$3 \times 2 = 6,0$	$\varnothing 60^{+0,5}_{-1,1}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45k6^{(+0,018}_{+0,002})$ ; Ra 1,25					
Шліфування чистове	6	Ra 1,25	0,016	$0,04 \times 2 = 0,08$	$\varnothing 45^{+0,018}_{+0,002}$
Шліфування напівчистове	8	Rz 10	0,039	$0,11 \times 2 = 0,22$	$\varnothing 45,08_{-0,039}$
Напівчистове точіння	11	Rz 20	0,16	$0,41 \times 2 = 0,82$	$\varnothing 45,3_{-0,16}$
Чорнове точіння (зняття напуску)	14	Rz 100	0,62 0,74	$3,47 \times 2 = 6,94$ $3,47 \times 2 = 6,94$	$\varnothing 46,12_{-0,62}$ $\varnothing 53,06_{-0,74}$
Заготовка	Звичайн. точності прокатки	Rz 160	1,6	$7,5 \times 2 = 15,0$	$\varnothing 60^{+0,5}_{-1,1}$
Шпонковий паз 12P9 $(^{-0,018}_{-0,061})$ Ra 6,3; $5^{+0,2}$ , Ra 12,5; $1=80^{+0,2}$					
Фрезерування	9	Ra 6,3	0,2	$0,2 \times 25 = 5,0$	$5^{+0,2}$
Заготовка	Звичайн. точності прокатки	Rz 160			Суцільний матеріал
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 30b12^{(-0,16}_{-0,37})}$					
Напівчистове точіння	11	Rz 20	0,11	$0,75 \times 2 = 1,5$	$\varnothing 30^{(-0,16}_{-0,37)}$
Чорнове точіння (зняття напуску)	14	Rz 80	0,62	$2,25 \times 2 = 4,5$	$\varnothing 31,5_{-0,62}$
Заготовка	15	Rz 160	1,4	$3,0 \times 2 = 6,0$	$\varnothing 36^{+0,4}_{-0,7}$

### 3.5. Визначення режимів різання

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.6.







Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Точити попередньо поверхні 13, 12, витримуючи розміри $\varnothing 41,13h14_{(-0,62)}$ , $l = 84$ ; $\varnothing 46,12h14_{(-0,62)}$ , $l = 140$ послідовно з копіювального супорта по копіру; точити фаски 15, 11, витримуючи розміри $8,3 \times 15^\circ$ ; $3,1 \times 30^\circ$ з поперечного супорта одночасно	4,435 (коп. суп.)	162,5	1	64	0,61		65,8 6			
	2,2 (поп. суп.)	7,0	1	64	0,16	514	141, 75	–	0,5 4	6,7
Перехід 4 Точити остаточно поверхні 14, 13, 12, 10а з підрізкою торця, витримуючи розміри $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$ , $l = 16$ ; $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$ , $l = 84$ ; $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$ , $l = 140$ ; $\varnothing 54,95h11_{(-0,19)}$ , $l = 192_{-0,3}$ послідовно з копіювального супорта по копіру	0,615	219,5	1	64	0,5 1	1252	156, 7	–	0,3 6	–
Операція 025 Шпонковофрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шпонковий паз 5, витримуючи розмір $12P9_{(-0,061)}^{-0,018} 5^{+0,2}$ , $l = 80^{+0,2}$	0,2	68	26	64	0,6 мм/ зуб	376	13,8 8	45 1	3,7 6	0,86
Операція 030 Шпонковофрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шпонковий паз 6, витримуючи розмір $12P9_{(-0,061)}^{-0,018} 5^{+0,2}$ , $l = 80^{+0,2}$	0,2	68	25	64	0,6 мм/ зуб	376	13,8 8	45 1	3,7 6	0,86

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операція 035 Шліцефрезерна										
Перехід 2 Фрезерувати шліці 10, витримуючи розмір 9h9 ( $_{-0,036}$ ), $\varnothing 46a11$ ( $_{-0,48}^{+0,32}$ )	4,0	80	1	281	0,64	82	25,2	–	2,7	1,58
Операція 040 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити отвір 23, витримуючи розмір $\varnothing 5H12$ ( $^{+0,12}$ ), $l=8$ , $15\pm 0,2$	2,5	11	1	17	0,081	402	6,4	–	0,34	0,67
Операція 045 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити отвір 24, витримуючи розмір $\varnothing 5H12$ ( $^{+0,12}$ ), $l=8$ , $15\pm 0,2$	2,5	11	1	17	0,08 1	403	6,5	–	0,34	0,67
Операція 050 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити отвір 17 під різь і зенкувати фаску 21, витримуючи розмір $\varnothing 10,2H14$ ( $^{+0,36}$ ), $l=48$ , $1,6\times 45^\circ$	5,1	54	1	21	0,08 2	252	7,8	–	2,6	1,32
Операція 055 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2										
Свердлити отвір 18 під різь і зенкувати фаску 22, витримуючи розмір $\varnothing 10,2H14$ ( $^{+0,36}$ ), $l=48$ , $1,6\times 45^\circ$	5,1	54	1	21	0,081	251	7,8	–	2,6	1,32
Операція 060 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Нарізати різь 19, витримуючи розмір M12-7H; $l=32$	1,515	75	1	34	1,76	102	3,78	–	0,44	0,6
Операція 065 Вертикально-свердлильна										



Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шліфувати попередньо поверхню 10а, витримуючи розміри $\varnothing 54,45h8_{(-0,046)}$ , $l = 192_{-0,3}$	0,25	52	1	–	$S_{\Pi} = 0,024$ мм/об $S_o = 25$ мм/об	70	$V_{s.кол.} = 14$ м/хв $V_{s.позд.} = 4$ м/хв	–	0,36	8,1
Перехід 3 Шліфувати остаточно поверхню 10а, витримуючи розміри $\varnothing 54h7_{(-0,03)}$ , $l = 192_{-0,3}$	0,225	52	1	–	$S_{\Pi} = 0,004$ мм/об $S_o = 17$ мм/об	177	$V_{s.кол.} = 31$ м/хв $V_{s.позд.} = 6$ м/хв	–	1,17	–
Операція 085 Круглошліфувальна										
Перехід 2 Шліфувати попередньо поверхні 12, витримуючи розміри $\varnothing 45,08h8_{(-0,039)}$ , $l = 140$	0,11	56	1	–	$S_{\Pi} = 0,024$ мм/об $S_o = 25$ мм/об	106	$V_{s.кол.} = 11$ м/хв $V_{s.позд.} = 4$ м/хв	–	0,14	3,3
Перехід 3 Шліфувати остаточно поверхню 12, витримуючи розміри $\varnothing 45k6_{(+0,018/+0,002)}$ , $l = 140$	0,04	54	1	–	$S_{\Pi} = 0,004$ мм/об $S_o = 17$ мм/об	212	$V_{s.кол.} = 31$ м/хв $V_{s.позд.} = 6$ м/хв	–	0,17	–
Операція 090 Круглошліфувальна										
Перехід 2 Шліфувати попередньо поверхню 13, витримуючи розміри $\varnothing 40,101h8_{(-0,039)}$ , $l = 84$	0,109 5	68	1	–	$S_{\Pi} = 0,024$ мм/об $S_o = 22$ мм/об	95	$V_{s.кол.} = 14$ м/хв $V_{s.позд.} = 4$ м/хв	–	0,17	2,8
Перехід 3 Шліфувати остаточно поверхню 13, витримуючи розміри $\varnothing 40k6_{(+0,018/+0,002)}$ , $l = 84$	0,041 5	68	1	–	$S_{\Pi} = 0,0051$ мм/об $S_o = 17$ мм/об	240	$V_{s.кол.} = 31$ м/хв $V_{s.позд.} = 4$ м/хв	–	0,21	–

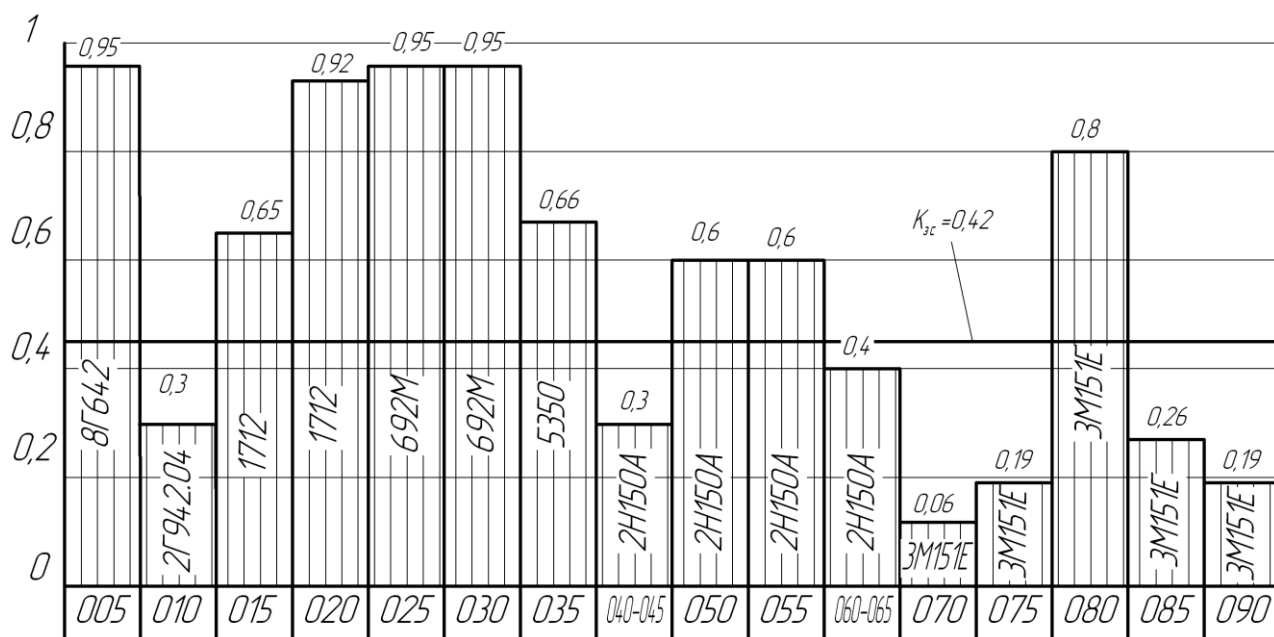


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

### 3.6. Розрахунок пристосування

Пристосування спроектоване для свердління отвору  $\varnothing 5H12$  в деталі “Вал” 47.628.080 на вертикально-свердильному верстаті.

Деталь в пристосуванні базується на дві установочні призми 12 зовнішніми циліндричними поверхнями  $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$  мм і на базу 16 – торцевою плоскою поверхнею. Затиск здійснюється від пневмоциліндра двохсторонньої дії.

Похибка базування  $\Delta \varepsilon_{6.15}$  відповідно до розрахункової схеми на рис. 3.4 на розмір 15 визначається за формулою [24]:

$$\Delta \varepsilon_{6.15} = 0,5TD \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right), \quad (3.5)$$

де TD – допуск на розмір  $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$ , TD = 0,16 мм.

$\alpha$  – кут установочної призми, при  $2\alpha = 90^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ .

$$\text{Тоді, } \Delta \varepsilon_{6.15} = 0,5 \cdot 0,16 \left( \frac{1}{\sin 45^\circ} + 1 \right) = 0,193 \text{ мм} = 193 \text{ мкм}.$$

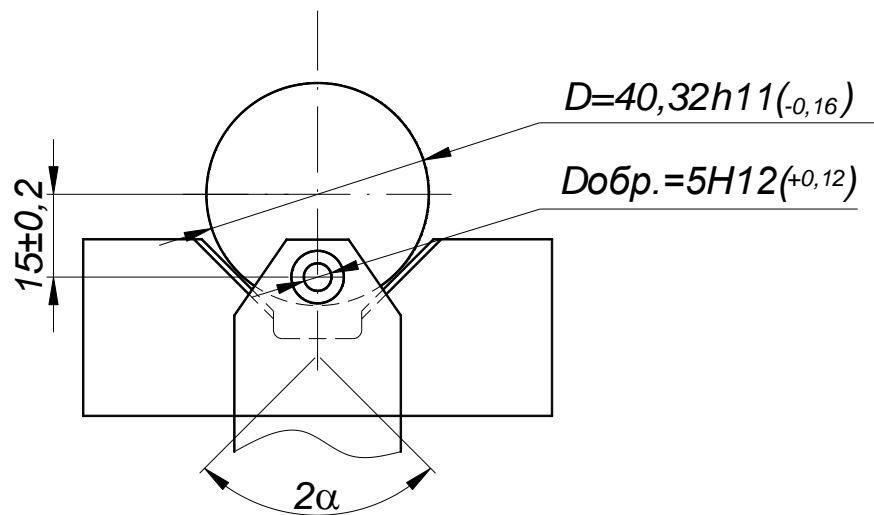


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема для визначення похибки базування

Для розрахунку сил затиску деталі на вертикально-свердлильних операціях 040, 045 при свердлінні отворів  $\varnothing 5H12(+0,12)$ ;  $l = 8$  мм представлено розрахункову схему на рис. 3.5.

В процесі свердління отвору виникає крутний момент  $M_{кр}$ .

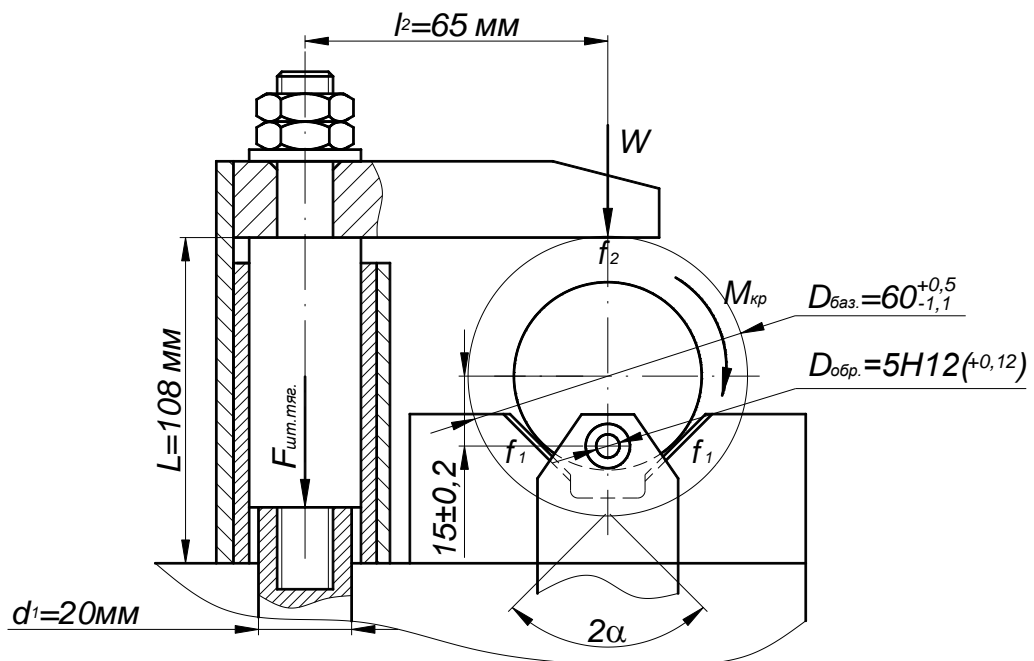


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема для розрахунку сил затиску деталі на вертикально-свердлильних операціях 040, 045

Необхідна сила для затиску заготовки [24]:

$$P_3 = \frac{2K \cdot M_{кр}}{D_3 \cdot \left( \frac{f_2 + f_1}{\sin \alpha} \right)}, \quad (3.6)$$

де  $f_1 + f_2 = 0,16$  [24];

$K = 3,7$  [20].

Крутний момент при свердлінні [20]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.7)$$

де  $C_M = 0,0345$ ;  $q = 2,0$ ;  $y = 0,8$  [20];

$D = 5$  мм;

$S = 0,08$  мм/об;

$K_p = K_{mp} = 1,22$  [20].

Отже,  $M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 5^{2,0} \cdot 0,08^{0,8} \cdot 1,22 = 1,14$  Н·м.

$$\text{Отже, } P_3 = \frac{2 \cdot 3,7 \cdot 1,14}{0,06 \cdot \left( \frac{0,16}{\sin 45} \right)} = 621 \text{ Н.}$$

Перевірочний розрахунок:

$$P_3 \leq W \cdot K, \quad (3.8)$$

де  $W$  – сила тяги пневмоциліндра;

$K$  – коефіцієнт, який враховує зміщення точки прикладання сили  $P_3$  відносно вісі.

$$K = 1 - \frac{3l_2}{L} \cdot f, \quad (3.9)$$

де  $l_2, L$  – геометричні параметри затискного механізму, згідно креслення.

$l_2 = 65$  мм;  $L = 108$  мм.

$f = 0,1$ .

$$K = 1 - \frac{3 \cdot 0,065}{0,108} \cdot 0,1 = 0,819.$$



Сила тяги пневмоциліндра [24]:

$$W = \frac{F_{\text{шт.тяг.}}}{\left( \text{tg} \left( \beta + \text{arctg} \left( \varphi \cdot \frac{d}{D} \right) \right) + \text{tg} \varphi_1 \right)}, \quad (3.10)$$

$$W = \frac{2689}{\left( \text{tg} \left( 10 + \text{arctg} \left( 6 \cdot \frac{12}{24} \right) \right) + \text{tg} 6 \right)} = 4644 \text{ Н.}$$

Тоді:

$$W \cdot K = 4644 \cdot 0,819 = 3803 \text{ Н.}$$

Умова затиску (3.8) виконується:  $KW = 3843 \text{ Н} > P_3 = 612 \text{ Н}$ .

Отже, заготовка буде закріплена надійно.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Розробка засобів захисту від статичної електрики виробничого обладнання

Основні заходи, що використовуються для захисту від статичної електрики виробничого походження включають методи, що виключають або зменшують інтенсивність генерації зарядів, і методи, що знімають утворені заряди. Інтенсивність генерації зарядів можна зменшити відповідним підбором пар тертя або змішуванням матеріалів таким чином, що в результаті тертя один із змішаних матеріалів створює заряд одного знаку, а інший – протилежного. В даний час створений комбінований матеріал з нейлону і дакрону, що забезпечує захист від статичної електрики за цим принципом.

Зміною технологічного режиму обробки матеріалів також можна добитися зниження кількості зарядів, що генеруються (зменшення швидкостей обробки, швидкостей транспортування і зливу діелектричних рідин, зменшення сил тертя).

При заповненні сипкими речовинами або рідинами (діелектриками) резервуарів на вході в них застосовують ємності релаксацій, частіше всього у вигляді заземленої ділянки трубопроводу збільшеного діаметра, що забезпечує стікання всього заряду статичної електрики в землю.

Заряди утвореної статичної електрики усувають частіше всього шляхом заземлення електропровідних частин виробничого обладнання. Опір такого заземлення повинен бути не більше 100 Ом. При неможливості встановлення пристрою заземлення практикується підвищення відносної вологості повітря в приміщенні. Також збільшують об'ємну провідність діелектрика, для чого в нього вносять графіт, ацетиленову сажу, алюмінієву пудру, а в рідкі діелектрики – спеціальні добавки. Для ряду машин і агрегатів знайшли застосування нейтралізатори статичної електрики (коронного розряду, радіоізотопні, аеродинамічні і комбіновані). У всіх типах цих пристроїв шляхом іонізації повітря поблизу елемента конструкції, що накопичує заряд статичної

електрики, утворюються іони, у тому числі із знаком, протилежним знаку заряду, що і викликає його нейтралізацію.

До засобів індивідуального захисту від статичної електрики відносяться електростатичні халати і спеціальне взуття, підошва якого виконана з шкіри або електропровідної гуми, а також антистатичні браслети.

Значно більшу небезпеку представляє атмосферна статична електрика, ефективним засобом захисту від якого є захист від блискавок. Вона включає комплекс заходів і пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей, запобіганню вибухів, загорянь і руйнувань будівель, споруд, обладнання і матеріалів від вибухів, можливих при дії блискавок.

Для всіх будівель і споруд, не пов'язаних з виробництвом і зберіганням вибухових речовин, а також для ліній електропередач і контактних мереж проектування і виготовлення захисту від блискавок повинне виконуватися згідно «Інструкції по захисту від блискавок будівель і споруд» РД 34.21.122–87.

Для створення зон захисту застосовують одиночний стрижньовий громовідвід; подвійний стрижньовий громовідвід; багатократний стрижньовий громовідвід; одиночний або подвійний тросовий громовідвід. Контроль за засобами забезпечення електробезпеки, і зокрема за відповідністю їх вимогам безпеки, покладений на службу головного енергетика і електриків підрозділів.

#### **4.2. Забезпечення стійкості виробничих об'єктів**

Під стійкістю роботи виробничих об'єктів розуміють здатність об'єкта виготовляти встановлені види продукції в обсязі і номенклатурі, що відповідають вимогам певних планів в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість цього об'єкта до відновлення в умовах його ушкодження. Для об'єктів, які не пов'язані з виробництвом матеріальних цінностей, стійкість визначається їх здатністю виконувати свої функції.

Більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, які реально оцінять чинники, що можуть формувати стан об'єкта і розвиток подій в умовах надзвичайних ситуацій.

Підвищення стійкості технічних систем і об'єктів досягається здебільшого організаційно-технічними заходами, яким завжди передували дослідження стійкості конкретного об'єкта.

На першому етапі дослідження аналізують стійкість і уразливість його елементів в умовах надзвичайних ситуацій, а також оцінюють небезпеку виходу з ладу чи руйнування елементів, чи всього об'єкта в цілому. На цьому етапі аналізують:

- надійність устаткування і технологічних комплексів;
- наслідки аварій окремих систем виробництв;
- розповсюдження вибухової хвилі по території підприємства під час вибухів посудин, комунікацій, ядерних зарядів;
- розсівання речовин, що звільняються під час надзвичайних ситуацій;
- можливість вторинного утворення токсичних, пожежо- і вибухонебезпечних сумішей тощо

Кожного разу для виявлення впливів небезпечних чинників необхідно виявити склад тих елементів, на які впливають ті небезпеки, чи які беруть участь у формуванні впливів.

На другому етапі досліджень розробляються заходи з підвищення стійкості і підготовки об'єкта до відновлення його дії після надзвичайних ситуацій. У плані зазначаються об'єм і кошторис планованих робіт, джерела фінансування, основні матеріали та їх кількість, машини і механізми, робоча сила, відповідальні виконавці, термін виконання тощо.

Дослідження стійкого функціонування об'єкта починається задовго до початку його експлуатації. На стадії проектування це якоюсь мірою робить проєктант. Таке саме дослідження об'єкта проводиться відповідними службами на стадії технічних, економічних, екологічних та інших видів експертиз. Кожна реконструкція чи розширення об'єкта також потребує нових досліджень щодо

його стійкості. Отже, дослідження стійкості — це не одноразова дія, а тривалий, динамічний процес, який потребує постійної уваги з боку керівництва, технічного персоналу, служб цивільної оборони.

Будь-який виробничий об'єкт містить наземні будівлі і споруди основного і допоміжного виробництва, складські приміщення та приміщення адміністративно-побутового призначення. У будинках та спорудах основного і допоміжного виробництва розміщується типове технологічне обладнання, мережі газо-, тепло-, електропостачання. Між собою приміщення і споруди з'єднані мережею внутрішнього транспорту, мережею енергоносіїв і системами зв'язку й управління. На території виробничих об'єктів можуть бути розташовані споруди автономних систем електро- і водопостачання, а також окремі технологічні пристрої, що знаходяться окремо від інших будівель і споруд. Будинки і споруди побудовані за типовими проектами з уніфікованих матеріалів. Проекти виробництва виконуються за єдиними нормами технологічного проектування, що зумовлює середній рівень щільності забудови (звичайно 30—60 %). Все це дає підстави вважати, що для всіх об'єктів, незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні загальні чинники, що впливають на стійкість об'єкта, його роботу в умовах НС.

На працездатність виробничого об'єкта мають негативний вплив специфічні умови і перш за все — район його знаходження. Він визначає рівень і вірогідність впливу небезпечних чинників природного походження (сейсмічний вплив, селі, зсуви, тайфуни, цунамі, кількість гроз, липневих дощів та ін.). Тому велика увага приділяється дослідженню й аналізу району розташування об'єкта. Одночасно з'ясовуються метеорологічні умови району (кількість опадів, напрямки дії пануючих вітрів, максимальна і мінімальна температура найбільш спекотного та найбільш холодного місяців, вивчається рельєф місцевості, характер ґрунту, глибина залягання ґрунтових вод, їх хімічний склад). На стійкість об'єкта впливають: характер забудови території (структура, тип, щільність забудови), наявність розташованих поблизу об'єкта суміжних виробництв, транспортні магістралі, природні умови місцевості

(лісові масиви — джерела пожеж; водні об'єкти — можливі транспортні комунікації, вогнеогороджуючі зони і одночасно джерела повеней та ін.).

Район розташування може відігравати роль головного чинника в забезпеченні захисту і працездатності об'єкта в умовах необхідного виходу з експлуатації штатних шляхів подання сировини чи енергоносіїв. Наприклад, наявність річки поблизу об'єкта дозволяє при порушенні шляхових і трубопровідних магістралей здійснити подачу матеріалів, сировини і комплектуючих водним транспортом.

Під час вивчення стійкості об'єкта дають характеристику будинкам основного і допоміжного виробництва, а також будинкам, які не беруть участь у виробництві основної продукції у випадках НС. Визначають основні особливості їх конструкції, технічні відомості, поверховість, розміри, вид каркасу, стикові заповнення, світові прорізи, покрівлю, перекриття, ступень зношення, вогнетривкість будинків, кількість робітників і службовців, які одночасно працюють у приміщеннях (найбільша робоча зміна), наявність убудованих в будинок сховищ чи сховищ, які знаходяться поблизу від основних будинків, наявність в будинках засобів евакуації та їх пропускну здатність.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено конструкцію спеціального інструменту для вигладжування поверхонь обертання. Проведено дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту для вигладжування циліндричних поверхонь при дії зовнішнього навантаження із використанням прикладного програмного забезпечення трьомірного моделювання. В результаті оброблення даної інформації одержали графічне відображення величин напружень та деформацій в конструктивних елементах спеціального інструменту.

Встановлено, що при зовнішньому навантаженні 200 Н максимальні напруження виникають при основі паза державки і становлять 55,9 МПа. Максимальні деформації виникають на вершині оправки і становлять 0,149 мм. Ці значення не перевищують границю текучості матеріалу державки, тому переміщення елементів відбувається в межах пружних деформацій і не знижують суттєво точні процесу вигладжування.

Збільшення довжини паза  $L$  від 40 мм до 100 мм призводить до зростання деформації державки в 11,06 рази від 0,053 мм до 0,586 мм та до зростання напружень у 2,6 рази від 36 МПа до 93,8 МПа.

Збільшення ширини перемички  $B$  від 10 мм до 25 мм не суттєво впливає на величину деформації та напружень державки та коливається в межах 14%. Підвищення напружень при  $B=20$  мм пояснюється зміною місця виникнення максимальних напружень (при основі радіуса паза).

Збільшення товщини державки  $H$  від 10 мм до 25 мм призводить до зменшення деформації державки в 2,5 рази від 0,482 мм до 0,192 мм та до зменшення напружень у 2,63 рази від 113,5 МПа до 43,3 МПа.

Також визначено, що величини напружень та деформацій у державці прямопропорційно залежать від величини зовнішнього навантаження у вигляді сили вигладжування. Мінімальна величина напружень становить 38 МПа, а

максимальна – 115 МПа. Мінімальна величина деформацій становить 0,16 мм, а максимальна – 0,48 мм. При цьому жорсткість державки становить 625 Н/мм.

Отже, найбільший вплив на величину деформації та напружень державки має довжина паза  $L$ , а найменший - ширина перемички  $B$ . Запропоновані моделі та графіки дозволяють прогнозувати силу вигладжування поверхні обертання залежно від конструктивних параметрів державки та величини її попередньої деформації.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості  $Ra$  циліндричної поверхні після вигладжування. визначено, що найбільший вплив на шорсткість циліндричної поверхні після вигладжування має сила вигладжування  $P_v$ . Діаметри кульки  $D$  та подача  $S$  державки із кулькою мають однаковий вплив. При збільшенні сили вигладжування  $P_v$  шорсткість циліндричної поверхні спочатку спадає, а потім зростає. При збільшенні подачі  $S$  державки із кулькою шорсткість циліндричної поверхні зростає, а при збільшенні діаметра кульки  $D$  – спадає.

Максимальне значення шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування становить 0,9 мкм, а мінімальне – 0,2 мкм. Збільшення сили вигладжування  $P_v$  від 100 Н до 230 Н призводить до зменшення шорсткості циліндричної поверхні в 2,07 рази. Подальше збільшення сили вигладжування  $P_v$  від 230 Н до 300 Н призводить до збільшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,38 рази. Отже, оптимальною величиною силою вигладжування при даних умовах експерименту є 230 Н.

Збільшення подачі  $S$  державки із кулькою від 0,02 мм/об до 0,08 мм/об призводить до збільшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,67 рази, а збільшення діаметра кульки  $D$  від 3 мм до 7 мм призводить до зменшення шорсткості циліндричної поверхні в 1,5 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення вала 47.628.080.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71,72,73,74,75,76 (в отдельных книгах). М.: Издательство стандартов, 1986. 235 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Дьячков В. Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 328 с.
6. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
7. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
8. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 1986. 656 с.
10. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1972. 258 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
12. Горбачевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 288 с.
13. Итин А. М., Родичев Ю. Я. Наладка и эксплуатация токарных многошпиндельных полуавтоматов. М. : Машиностроение, 1977. 136 с.
14. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.:

Машиностроение, 1966. 650 с.

15. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.

16. Kovacs, Zsolt & Viharos, Zsolt & Kodácsy, János. (2020). Surface Flatness and Roughness Evolution After Magnetic Assisted Ball Burnishing of Magnetizable and Non-Magnetizable Materials. Measurement. 158. 107750. 10.1016/j.measurement.2020.107750.

17. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

18. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.

19. Hassan AM, Al-Bsharat AS (1996) Improvements in some properties of non-ferrous metals by the application of the ball-burnishing process. J Mater Process Technol 59:250–256. doi:10.1016/0924-0136(95)02149-3.

20. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

21. Експериментальні дослідження крутного моменту різання кінцевою фрезою / І.В. Головатий, А.М. Хічій, А.К. Шманін // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 7-8 грудня 2022 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. С. 21.

22. López de Lacalle LN, Lamikiz A, Sánchez JA, Arana JL (2007) The effect of ball burnishing on heat treated steel and Inconel 718 milled surfaces. Int J Adv Manuf Technol 32(9-10):958–968. doi:10.1007/s00170-005-0402-5.

23. Tadic B, Todorovic PM, Luzanin O, Miljanic D, Jeremic BM, Bogdanovic B, Vukelic D (2013) Using specially designed high-stiffness burnishing tool to achieve high-quality surface finish. Int J Adv Manuf Technol 67(1-4):601–611. doi:10.1007/s00170-012-4508-2 .

24. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
25. El-Axir MH, Othman OM, Abodiena AM (2008) Study on the inner surface finishing of aluminum alloy 2014 by ball burnishing process. *J Mater Process Technol* 202:435–442. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.10.040.
26. Bouzid W, Tsoumarev O, Saï K (2004) An investigation of surface roughness of burnished AISI 1042 steel. *Int J Adv Manuf Technol* 24:120–125. doi:10.1007/s00170-003-1761-4.
27. I.T. Maximov, A.P. Anchev, V.P. Dunchev, N. Ganev, G.V. Duncheva, K.F. Selimov: Effect of slides burnishing basics parameters on fatigue performance of 2024-T3 high-strength aluminium alloy, Wiley Publishing Ltd. *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 00 (2017) 1–12. <https://doi.org/10.1111/ffe.12608>.
28. Akkurt A (2011) Comparison of roller burnishing method with other hole surface finishing processes applied on AISI 304 austenitic stainless steel. *J Mater Eng Perform* 20:960–968. doi:10.1007/s11665-010-9718-x.
29. Hatem Amdouni, Hassen Bouzaïene, Alex Montagne, Adrien van Gorp, Thierry Coorevits, et al.. Experimental study of a six new ball-burnishing strategies effects on the Al-alloy flat surfaces integrity enhancement. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 2017, 90, pp.2271-2282. doi:10.1007/s00170-016-9529-9. doi:10.1007/s00170-016-9529-9.
30. Partchapol Sartkulvanich, M.S. Determination of material properties for use in FEM simulations of machining and roller burnishing The Ohio State University 2007, 237 p.
31. Мороз С.А. Забезпечення мікротопографії кілець роликотітанидів на основі зміцнювально-вигладжувальної технології. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування», Луцьк, 2010, 185 с.
32. Ihor Konovalenko, Pavlo Maruschak, Janette Brezinová, Ján Viňáš, Jakub Brezina. Steel surface defect classification using deep residual neural network. *Metals*, 2020, 10(6), pp. 846-851.
33. Iaroslav Lytvynenko, Pavlo Maruschak, Sergiy Lupenko, Sergey V Panin. Segmentation and statistical processing of geometric and spatial data on self-organized surface relief of statically deformed aluminum alloy. *Applied Mechanics*

and Materials, 2015, 770, pp. 288-293.

34. I.V. Lytvynenko, P.O. Maruschak, S.A. Lupenko, P.V. Popovych. Modeling of the ordered surface topography of statically deformed aluminum alloy. Materials Science, 2016, 52, pp. 113-122.

35. Volodymyr Dzyura, Pavlo Maruschak, IM Zakiev, Andriy Sorochak. Analysis of inner surface roughness parameters of loadcarrying and support elements of mechanical systems. International Journal of Engineering, 2017, 30(8), pp. 1170-1175.